

VŠB- Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Návrh ocelového dopravníkového mostu pro transport
energetického uhlí

Design of energetic coal transportation steel bridge

Student:

Bc. Veronika Dybalová

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Vít Křivý, Ph. D.

Ostrava 2017

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Veronika Dybalová

Studijní program:

N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor:

3607T037 Konstrukce staveb

Téma:

Návrh ocelového dopravníkového mostu pro transport energetického uhlí

Design of energetic coal transportation steel bridge

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce:

1. Navrhněte nosnou ocelovou konstrukci dopravníkového mostu pro transport energetického uhlí. Při návrhu ocelové konstrukce vycházejte z podkladů dodaných společností Institut ocelových konstrukcí, spol. s r. o. Navrhovaná konstrukce bude součástí zauhlování v Elektrárně Chvaletice.
2. Ocelovou konstrukci navrhněte a posuďte v souladu s platnými evropskými a národními normami.
3. K navrženému konstrukčnímu řešení vypracujte potřebnou projektovou dokumentaci (přehledné výkresy ocelové konstrukce, technickou zprávu a výkaz materiálu).

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN EN 1990 ed.2 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. ÚNMZ, 2011 (včetně změn a oprav).
- [2] ČSN EN 1991-1-X Zatížení konstrukcí (příslušné části). Praha: ÚNMZ.
- [3] ČSN EN 1993-1-1 ed. 2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha, ÚNMZ, 2011.
- [4] ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků. Praha: ČNI, 2007.
- [5] ČSN EN 1998-1-1 ed. 2. Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení - Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby. ÚNMZ, 2013
- [6] www.access-steel.com.
- [7] Marek, P. a kol. Kovové konstrukce pozemních staveb, Praha: SNTL, 1985.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

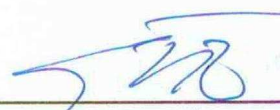
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Vít Křivý, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2017

Datum odevzdání: 01.12.2017



doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 1.12.2017

.....

Bc. Veronika Dybalová

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 1.12.2017

.....
Bc. Veronika Dybalová

Poděkování:

Chtěla bych poděkovat Ing. Davidu Mikoláškoví, Ph.D., za jeho cenné připomínky při tvorbě 3D modelu konstrukce. Děkuji také Ing. Petru Mynarčíkovi za rady při návrhu styčníků konstrukce a konzultace při tvorbě výkresové dokumentace.

Zvláštní poděkování patří mému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Vítu Křivému, Ph.D., za jeho čas a trpělivost při konzultacích, jeho odbornou pomoc a připomínky, především při řešení statických posudků.

Anotace

Počet stran: 128

Cílem diplomové práce je zpracovat návrh a posudek dopravníkového mostu, sloužícího k přepravě uhlí v elektrárně Chvaletice. Most zajišťuje dopravu energetického uhlí na 200m o 6 polích a to dvěma dopravníkovými pásy. Při návrhu jsou respektovány požadavky zadavatele, týkající se zatížení a rozmístění dopravníků. Pro modelování chování a posouzení konstrukce jsou využity dostupné softwary, zejména Scia Engineer a Idea Statica. Jednotlivé posudky dle normy jsou také porovnány s výstupy z obou jmenovaných programů. Součástí diplomové práce je technická zpráva, přehledná výkresová dokumentace a výkaz materiálu.

Klíčová slova

Dopravníkový most; statický posudek; klopení; projektová dokumentace; technická zpráva.

Annotation:

Number of pages: 128

The aim of this diploma thesis is to elaborate the design and the assessment of the conveyor bridge, which is used to transport energetic coal in the Chvaletice power plant. The bridge provides the transport of coal to 200m by 6 fields with two conveyor belts. The proposal respects the requirements of the contracting authority regarding the loading and positioning of conveyors. Modeling behavior and design assessment are based on available software, especially Scia Engineer and Idea Statica. The individual ratings according to the standard are also compared with the outputs of the two mentioned programs. Part of the diploma thesis is a technical report, a well-arranged drawing documentation and a material report.

Key words

Conveyor bridge; static report; tilting; project documentation; technical report.

OBSAH

1.	ÚVOD.....	13
1.1.	Teorie transportních mostů	13
2.	NÁVRH DOPRAVNÍKOVÉHO MOSTU	16
2.1.	Požadavky návrhu	16
2.2.	Parametry návrhu	17
3.	ZATÍŽENÍ	24
3.1.	Stálá zatížení	24
3.2.	Proměnné zatížení	27
4.	GLOBÁLNÍ ANALÝZA	46
4.1.	Stabilitní výpočet.....	46
4.2.	Vnitřní síly získané globální analýzou	47
4.3.	Posudek konstrukce mostu- MSÚ	50
4.3.1.	Posudek prvků příhradového pole	50
4.3.2.	Příčníky- O1a.....	57
4.3.3.	Zavětrování- O2.....	61
4.3.4.	Podélníky vnitřní- O3	63
4.3.5.	Příčné ztužení- O4	67
4.3.6.	Konzoly- O5	67
4.4.	Posudek podpěr- MSÚ.....	69
4.5.	Posudek konstrukce mostu- MSP	80
4.6.	Posudek podpěr- MSP	82
4.7.	Posudek vybraných detailů	83
4.8.	Návrh dilatace mostu	100
4.9.	Kotvení podpěr.....	103
5.	TECHNICKÁ ZPRÁVA	115
5.1.	Popis konstrukce.....	115

5.2.	Statické řešení	115
5.2.1.	Globální analýza konstrukce	115
5.2.2.	Statické řešení.....	116
5.2.3.	Stabilitní řešení	116
5.3.	Ocelové konstrukce	116
6.	ZÁVĚR.....	120
7.	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	121
7.1.	Seznam obrázků	121
7.2.	Seznam tabulek	123
8.	SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ	125
8.1.	Normy	125
8.2.	Literatura.....	125
8.3.	Internetové zdroje.....	126
8.4.	Zdroje obrázků	126
8.5.	Podklady	126
9.	SEZNAM PŘÍLOH.....	127
10.	POUŽITÝ PROGRAMOVÝ SOFTWARE	128

Seznam použitého značení:

A_{net}	Průměr oslabeného průřezu	[m ²]
a	Délka rozpětí	[m]
A	Plocha průřezu	[m ²]
A_s	Plocha jádra šroubu	[m ²]
b	Šířka ramene	[m]
C_m	Součinitele ekvivalentního momentu	[-]
C_m	Součinitel aerodynamického odporu	[-]
C_{ti}	Součinitel aerodynamického odporu	[-]
d	Průměr šroubu	[m]
d_0	Průměr otvoru	[m]
E	Modul pružnosti	[MPa]
f_u	Mez pevnosti	[MPa]
f_{ub}	Mez pevnosti pro šroub	[MPa]
f_y	Mez kluzu	[MPa]
f_{yb}	Mez kluzu pro šrouby	[MPa]
G	Modul pružnosti ve smyku	[MPa]
G_m	Součinitel konstrukce	[-]
h	Referenční výšky uvažované složky nad zemí	[m]
H	Referenční nadmořská výška v metrech	[m]
I	Moment setrvačnosti	[m ⁴]
I_t	Moment tuhosti v prostém kroucení	[m ⁴]
i_v	Poloměr setrvačnosti k ose v	[m]
$I_v(h)$	Intenzita turbulence	[-]
I_w	Výsečový modul setrvačnosti	[m ⁶]
i_y	Poloměr setrvačnosti k ose y	[m]
k_r	Součinitel terénu	[-]
k_{yy}	Interakční součinitel	[-]
k_{yz}	Interakční součinitel	[-]

k_{zy}	Interakční součinitel	[-]
k_{zz}	Interakční součinitel	[-]
L	Délka rozpětí	[m]
$L_{cr,y}$	Vzpěrná délka k rovině y-y	[m]
$L_{cr,z}$	Vzpěrná délka k rovině z-z	[m]
n	Počet šroubů v průřezu	[-]
\emptyset_{LT}	Pomocný součinitel klopení	[-]
\emptyset_y	Pomocný součinitel vzpěrnosti	[-]
q	Spojité zatížení	[kN/m]
$q_h(h)$	Střední tlak větru	[N/m ²]
$q_p(h)$	Maximální tlak větru	[N/m ²]
R^2	Součinitel rezonanční části odezvy	[-]
T'	Absolutní teplota ve stupních Kelvina v nadmořské výšce H	[-]
T_{\max}	Maximální teplota v létě	[°C]
T_{\min}	Minimální teplota v zimě	[°C]
τ_{\parallel}	Smykové napětí rovnoběžné s osou svaru	
τ_{\perp}	Smykové napětí kolmé na osu svaru	
$V_{b,0}$	Základní rychlost větru	[m/s]
$V_{h(h)}$	Střední rychlost větru	[m/s]
W_{el}	Pružný modul průřezu	[m ³]
α	Součinitel imperfekce	[-]
α_{cr}	Součinitel vlastního tvaru	[-]
α_{LT}	Součinitel imperfekce klopení	[-]
α_v	Součinitel pro únosnost ve stříhu	[-]
β_{Lf}	Redukce únosnosti ve stříhu	[-]
ν_G	Dílčí součinitel stálého zatížení	[-]
ν_Q	Dílčí součinitel proměnného zatížení	[-]
Δl	Změna délek	[-]
$\Delta \vartheta$	Změna teploty	[-]
ε	Poměrné přetvoření	[-]

$\overline{\lambda_{\text{eff}}}$	Efektivní poměrná štíhlost	[-]
$\overline{\lambda_{LT}}$	Poměrná štíhlost při klopení	[-]
λ_y	Štíhlost	[-]
$\overline{\lambda_y}$	Poměrná štíhlost	[-]
ρ	Hustota vzduchu	[kg/m ³]
σ	Normálové napětí	[MPa]
σ_{\perp}	Normálové napětí kolmé na osu svaru.	[MPa]
χ	Součinitel plnosti	[-]
χ_{LT}	Součinitel klopení	[-]
χ_y	Součinitel vzpěrnosti	[-]

Další značení je ve shodě s platnými normami, na které je v textu odkazováno.

1. ÚVOD

Předmětem diplomové práce je návrh a posudek dopravníkového mostu v elektrárně Chvaletice. V roce 2016 byla elektrárna zasažena požárem. Ten vypukl v zauhlovací věži a zasáhl i dopravníkový most, který se následky požáru zhroutil. Cílem práce je navrhnout a staticky posoudit nový dopravníkový most, který bude respektovat požadavky zadavatele a zjednoduší obsluhu a manipulaci. Návrh je posouzen v souladu s platnými normami, především [7,8]. V rámci práce je zhotovena výkresová dokumentace, posouzeny a vymodelovány kritické detaily a výsledky porovnány s dostupnými softwary Scia Engineer a Idea Statica .

1.1. Teorie transportních mostů

Pásové dopravníky slouží k přepravě sypkých, kusových a vláknitých materiálů. Jsou využívány v různých odvětvích průmyslu a zemědělství.

Používají se v exteriéru i v interiéru dle konstrukce dopravníku.

Typy pásových dopravníků: [10].

- Pásový dopravník s kluznou plochou
- Pásový dopravník plnosíťkové konstrukce
- Pásový dopravník příhradové konstrukce

V případě, že běžící pásy nejsou umístěny přímo na zemi, musí být neseny dopravníkovými mosty. Mosty mohou být uzavřeného či otevřeného charakteru.

Jeden most může nést i více dopravníkových pásů, jak je také řešeno v této diplomové práci (jeden most- 2 dopravníkové pásy).

Hlavním nosným prvkem jsou příhradové nosníky, jež umísťujeme s rozponem 18-36m.

Obvodové stěny jsou řešeny obvykle jednoduchým, lehkým opláštěním (trapézové plechy) a v současné době se využívá zastřešení pouze dopravníkových pásů obloukovou střechou.

Pro menší rozpory do 15m je možno využít i plnostěnných hlavních nosníků.

Při několika pólovém umístění nosníků se využívá systému prostých nosníků umístěných za sebou. Podpory se umísťují podle potřeby, kdy se obvykle umísťuje pevná podpora do spodního konce přemostění a zbylé podpory působí v podélném

směru jako kyvné stojky a v příčném směru jsou tuhé. V případě dlouhých mostů s více poli je výhodné most rozdělit na více dilatačních celků a umístit tak pevné podpory pro možnost dilatace. Sklon mostu by se měl pohybovat kolem 20%.

Pro hlavní příhradový nosník bývá výhodné rozmístění svislic po třech metrech. Výška nosníku se pohybuje v rozpětí $1/10$ až $1/20$ rozpětí. V případech mostu s dolní mostovkou je nutno dodržet podchodnou výšku uvnitř mostu.

Tuhost mostu je zajištěna vodorovnými, větrovými ztužidly u horního i dolního pásu. Tvary ztužidel se odvíjí od šířky mostu.

U mostů s dolní mostovkou se při menších sklonech provádí (spíše v minulosti) podlaha betonová, monolitická do ztraceného bednění z plechů. Takto byla provedena i podlaha u mostu v elektrárně Chvaletice, před zhroutením konstrukce vlivem požáru.



Obrázek 1: Pásový dopravník příhradové konstrukce [16].

Při návrhu dopravníkových mostů je třeba počítat s těmito typy zatížení:

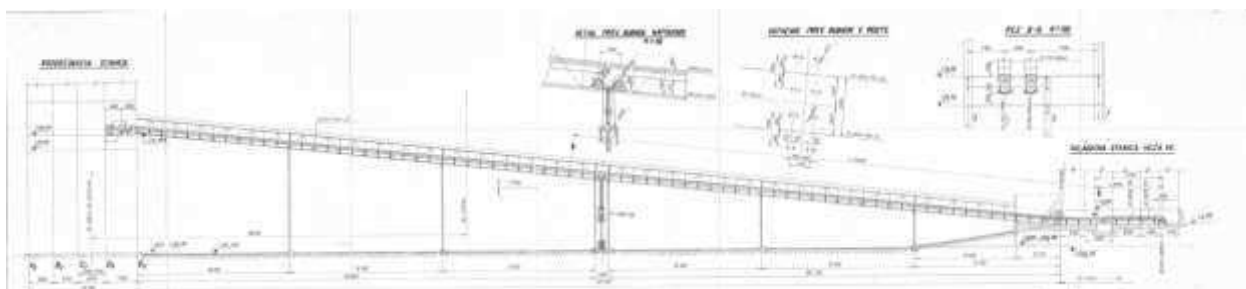
- stálé: vlastní hmotnost mostu, hmotnost dopravníkových pásů včetně podpor,
- proměnné: hmotnost materiálu určeného k dopravě, užité zatížení podlahy, sníh, vítr,
- mimořádné: seismická.

Pro správné fungování dopravníkových pásů je třeba umístit napínací stanice, sloužící k dopínání pásu v případě jeho aktivity, tímto vznikají účinky zatížení, s nimiž je potřeba počítat. Mohou být umístěny buď v konstrukci mostu, nebo v budovách, na něž mosty navazují.

2. NÁVRH DOPRAVNÍKOVÉHO MOSTU

2.1. Požadavky návrhu

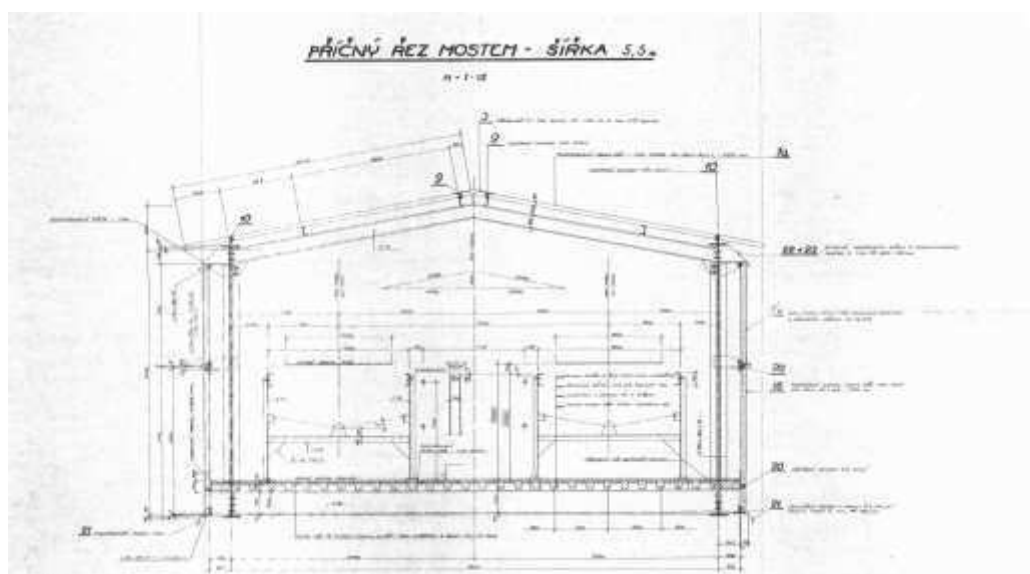
Původní most byl cca. 220m dlouhý a překlenoval výšku 25m. Tyto základní geometrické údaje jsou v návrhu nového mostu respektovány.



Obrázek 2: Podélný řez mostem- původní stav [17].

Jeden z respektovaných požadavků je umístění dvou dopravníkových pásů. Je zvolen systém uložení dopravníků na horní mostovku. Návrh uložení je z důvodu snížení konstrukční výšky příhradové konstrukce (při uložení na dolní pás by bylo nutné respektovat minimální průchozí výšku nutnou k obsluze a revizi dopravníků).

Pro manipulaci a revize dopravníků jsou umístěny po stranách a mezi dopravníky pochůzí lávky, kdy byl respektován požadavek na minimální šířku plošin, ve středu 1m a po krajích 0,6m.



Obrázek 3: Příčný řez mostem- původní stav.

Zastřešení jednotlivých dopravníků je řešeno lehkou obloukovou střechou.

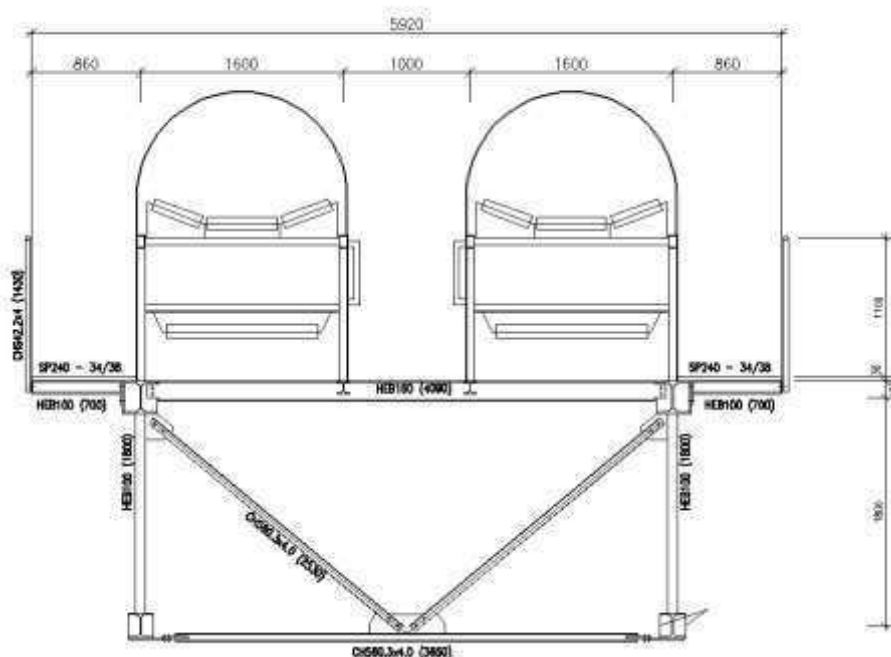
Uložení dopravníkového mostu je na systému kyvných stojek, které jsou navrženy jako příhradové sloupy s proměnou šířkou a jedna pevná opěra, umístěna v přibližném středu celé konstrukce. V této podpoře je také umožněn podélný pohyb konstrukce a rozděluje tak most na dva dilatační celky. Spodní pole mostu má navrženo pevné podepření a bude kotveno do konstrukce budovy skládkové stanice. Pro návrh kotvení do konstrukcí budovy nebyly poskytnuty dostatečné podklady a DP se jimi nezabývá. Výstupem budou pouze reakce od působení konstrukce, na které bude nutné uložení dimenzovat.

2.2. Parametry návrhu

Most je rozdělen na pět polí po 36m a jedno pole 26,5m. V patě mostu je uložen ve výšce 4,2m (viz. výkresová dokumentace) a ve vrcholu navazuje na konstrukci zauhlovací věže ve výšce 24,999m.

Konstrukce je navržena z oceli S355J0.

Dopravníkové pásy jsou navrženy na horní mostovce s požadovaným obslužným prostorem mezi pásy a po jejich stranách.

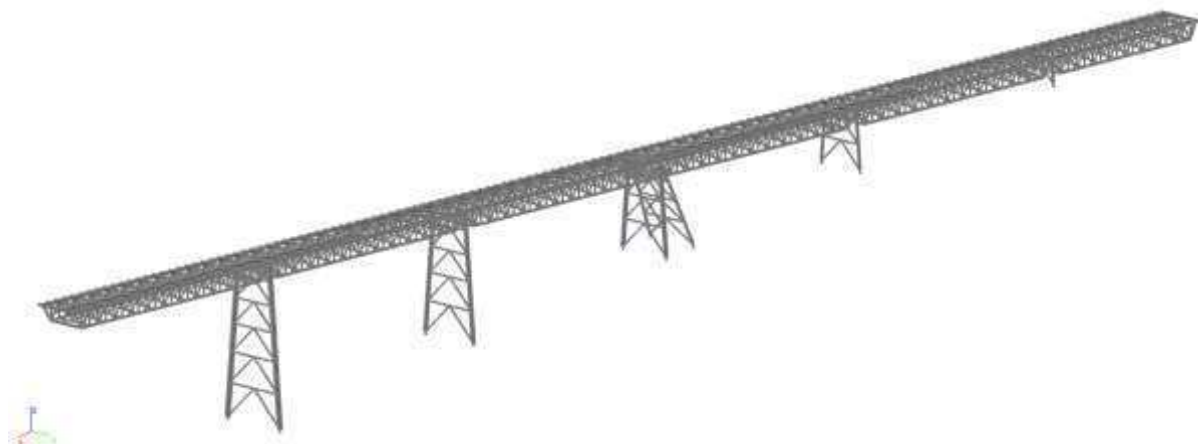


Obrázek 4: Návrh uspořádání prvků v příčném řezu konstrukce mostu.

Model je vytvořen ve statickém softwaru SCIA Engineer 17.0.

V diplomové práci je věnována zvláštní pozornost vytvoření 3D prutového modelu s různými prvky příčného ztužení pro zabezpečení prostorové tuhosti mostu tak, aby co nejpřesněji popisoval reálné chování konstrukce.

U pevné podpory je modelována dilatace kloubovým uložením horních pásů příhradové nosné konstrukce, volných v ose x.



Obrázek 5: Návrh prostorového modelu mostu

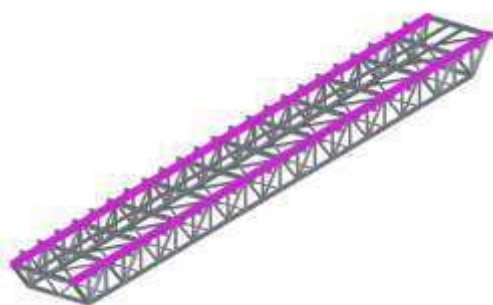
Hlavní konstrukční prvky mostu:

- Příhradové pole mostu

horní pás:

válcované: HEB nosníky,

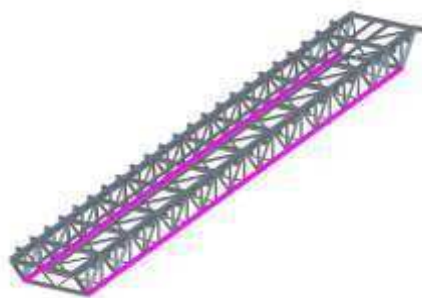
jsou zatíženy styčnickovými břemeny, účinky větru,
uloženy na sloupy- dovolené natočení.



Obrázek 6: Horní pásy příhradového pole mostu

dolní pás:

válcované: HEB nosníky.

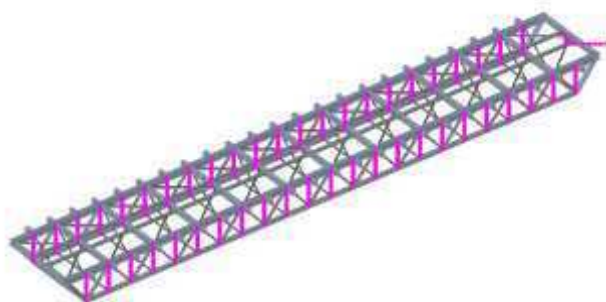


Obrázek 7: Dolní pásy příhradového pole mostu

výplňové pruty:

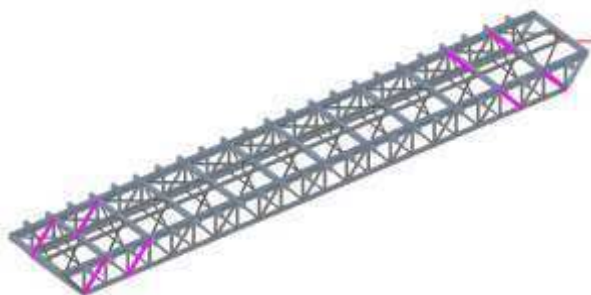
válcované: HEB nosníky,

- Svislice- značení : P3



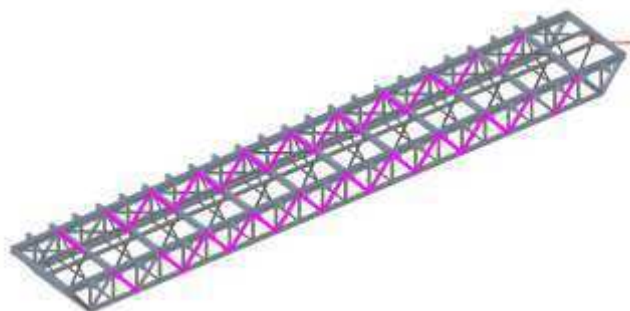
Obrázek 8: Výplňové pruty- svislice (P3)

- Krajní diagonály- značení: P4



Obrázek 9: Výplňové pruty- krajní diagonály (P4)

- Vnitřní diagonály- značení: P5



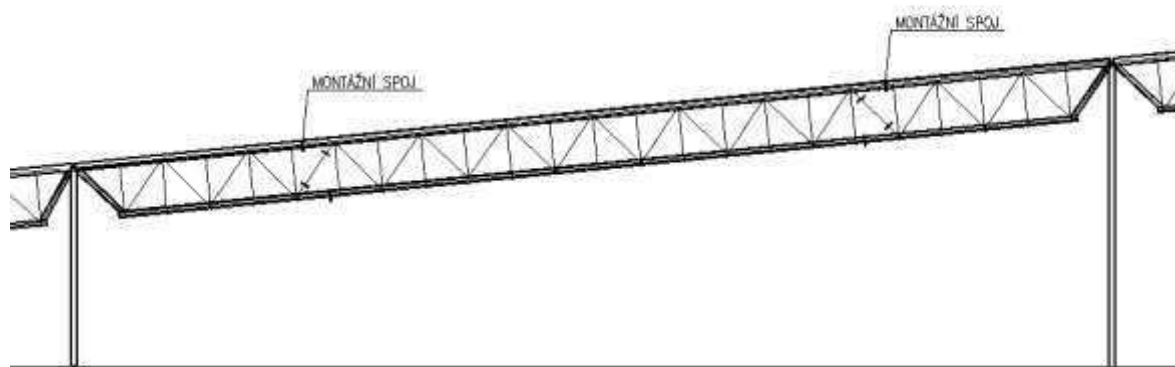
Obrázek 10: Výplňové pruty- vnitřní diagonály (P5)

- Diagonály DP- značení: P6



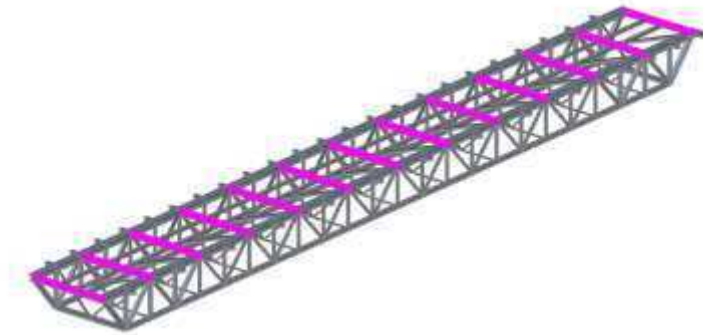
Obrázek 11: Výplňové pruty- diagonály DP (P6)

Příhradové pole je navrženo se svařovanými styčníky, montážní spoje jsou šroubované.



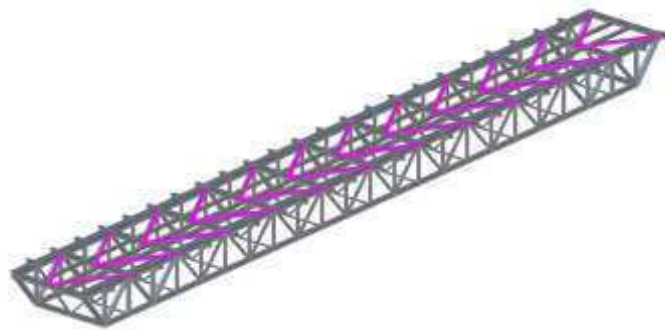
Obrázek 12: Rozmístění montážních spojů v poli.

- Příčnický- značení: O1
válnované: HEB nosníky,
působí jako prosté nosníky,
délka na vzdálenost hlavních nosníků- délka 4,2m,



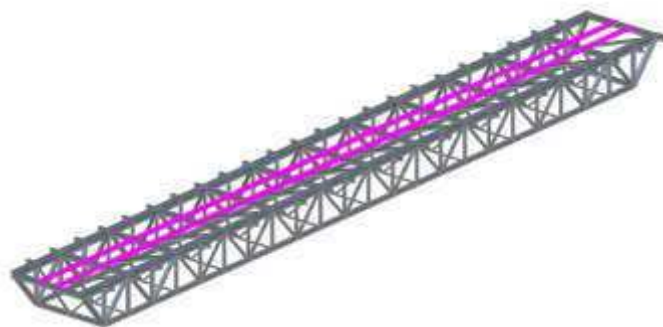
Obrázek 13: Příčnický mostu

- horní zavětrování- značení: O2
trubky,
navrženo u horního pásu,
přebírá část zatížení mostu větrem,



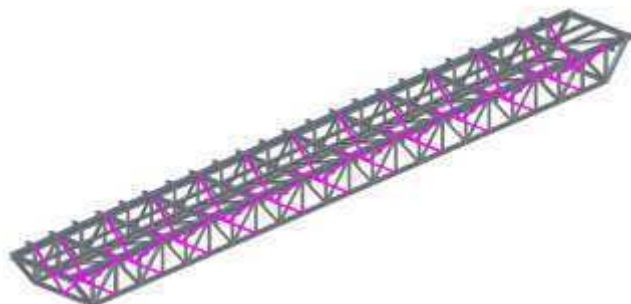
Obrázek 14: Zavětrování horního pásu mostu

- podélníky vnitřní- značení: O3
válnované: HEB nosníky,
působí jako prosté nosníky,
uložení mezi příčnický- délka 3m,



Obrázek 15: Podélníky pro kotvení dopravníkové konstrukce

- podlaha:
 - pororošty,
 - mezi dopravníkovými pásy- uloženy na podélníky pro dopravníky,
 - vedle dopravníkových pásů- uloženy na konzoly,
 - zatíženy užitným zatížením- obsluha a revize dopravníkových pásů,
- příčné ztužení- značení: O4
 - trubky,
 - zvyšují tuhost mostu v příčném směru,



Obrázek 16: Prostorové ztužidla zajišťující prostorovou tuhost mostu

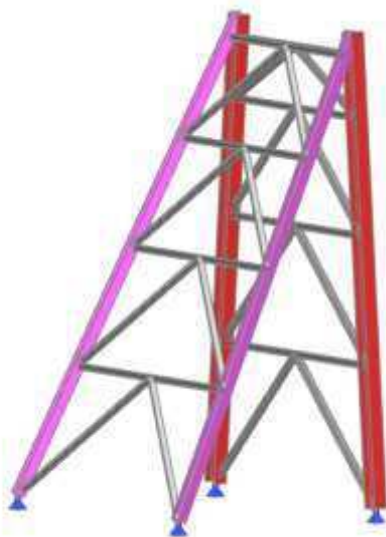
Podpěry:

- kyvné stojky:
 - příhradové sloupy o proměnné šířce,
 - HEB profily,



Obrázek 17: Podpěry- staticky působící jako kyvné stojky

- pevný bod:
příhradový sloup o proměnné šířce- kolmý a pod úhlem
HEB profily,
namáhány tlakem a tahem,
umožní dilataci dolní části mostu.



Obrázek 18: Podpěra: staticky působící jako prostorově tuhá

3. ZATÍŽENÍ

Zatížení působící na konstrukci je možné rozdělit dle proměnlivosti zatížení v čase, na stálé a proměnné, a odezvy konstrukce, na zatížení statické a dynamické.

Dynamické odezvy můžeme nahradit příslušným kvazistatickým statickým účinkem zatížení.

3.1. Stálá zatížení

Stálé zatížení je značeno písmenem G . Návrhové hodnoty jsou získány součinem charakteristické hodnoty a dílčího součinitele γ_G .

I. Vlastní tíha

Hmotnost vlastní konstrukce je podstatnou složkou zatížení působící na konstrukci. V předběžném návrhu je hmotnost konstrukce cca 150 tun.

Vlastní tíha je generována softwarem Scia Engineer.

II. Zábradlí na obslužných plošinách

Zábradlí je umístěno v místě obslužných plošin. Je navrženo ve dvou výškách jako trubkové a je vyplněno lehkým mřížovým pletivem.

Zábradlí je uloženo na konzolách a kotveno přes sloupky.

Odhad tíhy zábradlí: $m = 10 \text{ kg/m}$

Kotveno co 1,5 metru: $G_k = 0,1 \text{ kN/m} \cdot 1,5 \text{ m} = 0,15 \text{ kN}$

III. Tíha roštů

Podlahová konstrukce je navržena z odporově svařovaných roštů SP 240-34/38-3, které jsou umístěny mezi konstrukce dopravníků a po jejich stranách.

Vnitřní obslužná plocha:

Odhad tíhy roštů: $m = 27,2 \text{ kg/m}^2$

Roznášecí šířka: $l = 1 \text{ m}$

Spojité zatížení na vnitřní podélníky: $g_k = 0,272 \text{ kN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} = 0,272 \text{ kN/m}$

Vnější obslužné plochy:

Odhad tíhy roštů: $m = 27,2 \text{ kg/m}^2$
 Roznášecí šířka: $l = 1,5 \text{ m}$
 Spojité zatížení na vnitřní podélníky: $g_k = 0,272 \text{ kN/m}^2 * 1,5 \text{ m} = 0,408 \text{ kN/m}$

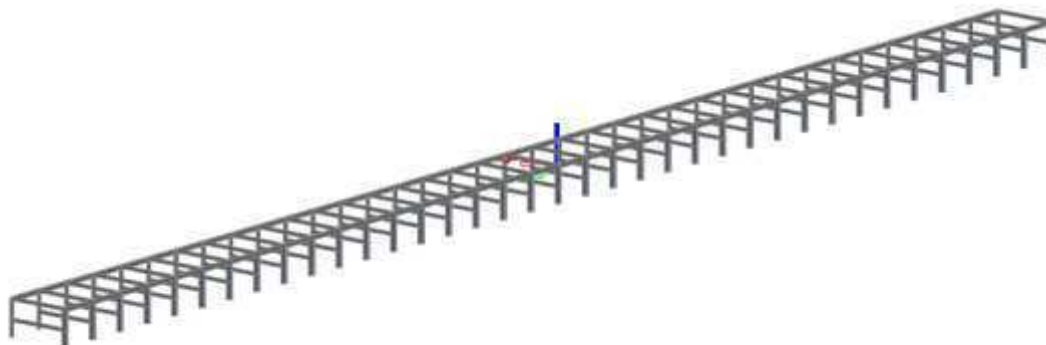
IV. Tíha kabeláže

Předpokládá se vedení instalací kotvené ve středu příčnicku, vedeno pod jeho rovinou.

Předpokládaná tíha vedených instalací: $m = 15 \text{ kg/m}$
 Roznášecí šířka: $l = 3 \text{ m}$
 Osamělé břemeno: $G_k = 0,15 \text{ kN/m} * 3 \text{ m} = 0,45 \text{ kN}$

V. Konstrukce dopravníku- pomocný model

Navržené konstrukce pro umístění běžících pásů jsou uloženy na horním páse mostu. Jsou modelovány jako tuhé rámy v příčném směru a tuhost v podélném směru je zajištěna podélníky. Reakce od jednotlivých účinků zatížení jsou do komplexního 3D modelu mostu vkládány jako osamělé břemena sil v místě ukotvení sloupků dopravníku.



Obrázek 19: Pomocný model konstrukce dopravníku

V diplomové práci je dopravník řešen pouze konstrukčně a jsou na něm stanoveny účinky zatížení. Návrh a posudek konstrukce dopravníku je záležitost pro strojní inženýry.

a) Vlastní tíha dopravníkové konstrukce

Generována softwarem SCIA engineer.

b) Zatížení od zábradlí

Na konstrukci jsou po obou stranách navržena zábradlí, chránící proti nechtěnému zachycení obsluhy. Zábradlí je navrženo ve dvou výškách jako trubkové a je vyplněno lehkým mřížovým pletivem.

Kotvení zábradlí je co 3m a je kotveno do sloupků konstrukce.

Odhad tíhy zábradlí: $m = 7 \text{ kg/m}$

Kotveno co 3 metry: $G_k = 0,07 \text{ kN/m} \cdot 3 \text{ m} = 0,21 \text{ kN}$

c) Zatížení od horních válečků

Válečky jsou navrženy od firmy Tranza, složeny ze tří válečků žlabového typu. Jejich primární účel je pohánění a podpírání běžícího pásu.

Válečky jsou kotveny, přes ocelové plechy, po 1m, na horní příčnky a kromě jejich hmotnosti je počítáno i s hmotností běžícího pásu o šířce 1,4m.

Při zatížení vznikají i dynamické účinky, které jsou ve výpočtu zahrnuty dynamickým součinitelem 1,2.

Odhad tíhy sestavy válečků: $m = 44,5 \text{ kg}$

Odhad tíhy běžícího pásu: $m = 12 \text{ kg/m}^2$

Zatížení od válečků a pásu: $G_k = 0,445 \text{ kN} + (0,12 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,4 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 1,2) = 0,647 \text{ kN}$

d) Zatížení od dolních válečků

Zpětný chod pásu bude poháněn pouze jedním válečkem od stejné firmy.

Budou uloženy na příčník kotvený přibližně do poloviny sloupků co dva metry. Kromě vlastní hmotnosti je opět připočítána tíha pásu a zohledněny dynamické účinky.

Odhad tíhy sestavy válečků: $m = 10,2 \text{ kg}$

Odhad tíhy běžícího pásu: $m = 12 \text{ kg/m}^2$

Zatížení od válečků a pásu: $G_k = 0,102 \text{ kN} + (0,12 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,4 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} \cdot 1,2) = 0,505 \text{ kN}$

e) Zatížení od zastřešení běžících pásů

Zastřešení je navrženo jako oblouková střecha, složená z kovové konstrukce a plechového pláště.

Konstrukce zastřešení je kotvena co metr, do podélníků rámu.

Odhad tíhy rámové konstrukce zastřešení:

$$m = 39,2 \text{ kg}$$

Zatížení se rozdělí do dvou stojek:

$$G_k = 0,392 \text{ kN} / 2 = 0,196 \text{ kN}$$

Odhad tíhy zastřešení:

$$m = 35 \text{ kg/m}$$

Zatížení při zatěžovací šířce 1m do jedné stojky:

$$G_k = 0,35 \text{ kN/m} * 1 \text{ m} / 2 = 0,175 \text{ kN}$$

Celkové zatížení od zastřešení do jedné stojky:

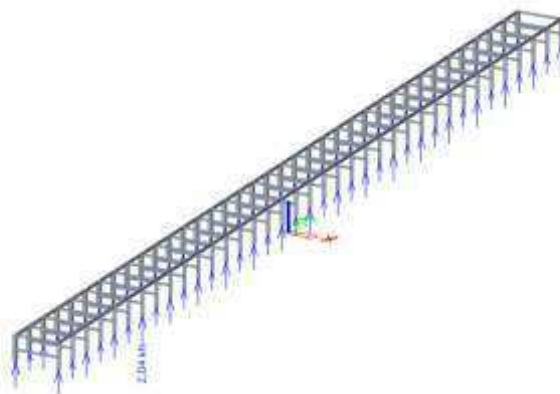
$$G_k = 0,196 \text{ kN} + 0,175 \text{ kN} = 0,371 \text{ kN}$$

Reakce od stálého zatížení dopravníků:

Na pomocném modelu byly modelovány všechny složky stálého zatížení. Výsledné reakce jsou použity jako stálé zatížení v komplexním 3D modelu mostu.

Reakce od stálého zatížení dopravníku

$$R_z = 2,04 \text{ kN} \quad \text{Reakce ve svislém směru}$$



Obrázek 20: Reakce od stálého zatížení dopravníkové konstrukce

3.2. Proměnné zatížení

Proměnné zatížení se značí písmenem Q . Návrhové hodnoty jsou získány součinem charakteristické hodnoty a dílčího součinitele γ_Q .

I. Zatížení transportovaným materiálem

Zadavatelem je uvedena maximální transportovaná hmotnost. Při výpočtu zatížení je nutné zohlednit dynamické účinky dynamickým součinitelem.

Zatížení je modelováno na konstrukci dopravníku a na most jsou již zadány účinky zatížení jako osamělé břemena v místech uložení sloupků dopravníku.

Zadaná maximální hmotnost: $m = 350 \text{ kg/m}$

Zatížení při zatěžovací šířce 1 m do jedné stojky: $Q_k = 3,5 \text{ kN/m} * 1 \text{ m} * 1,2 / 2 = 2,1 \text{ kN}$

II. Zatížení větrem

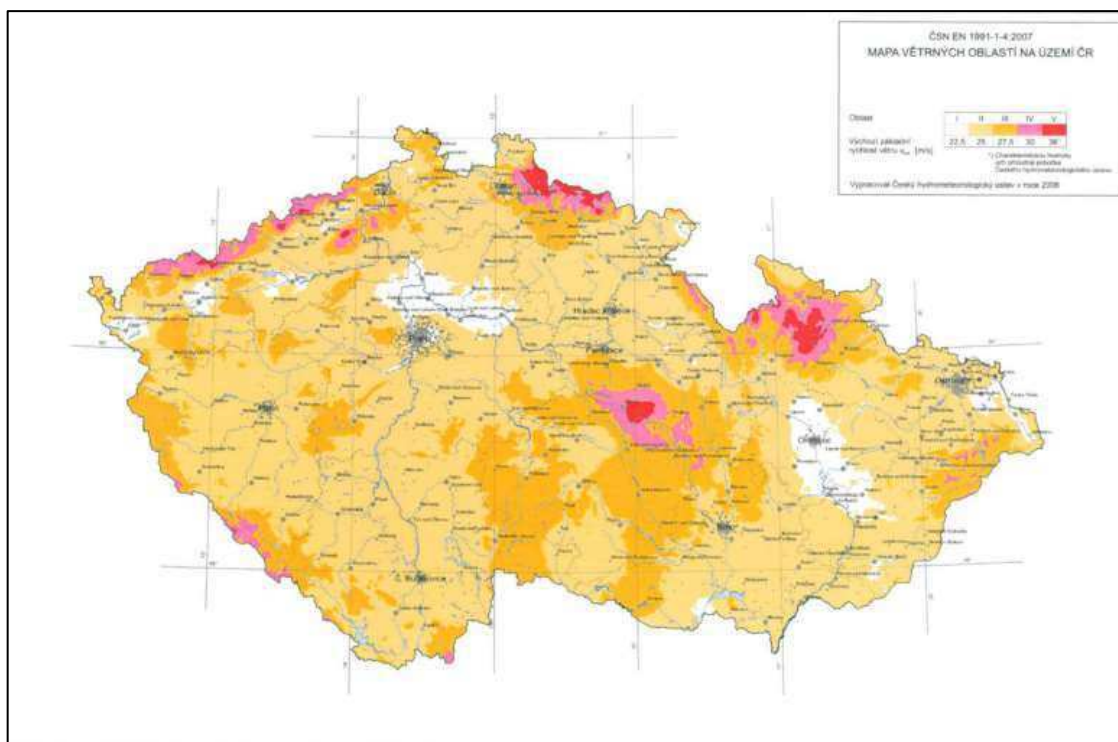
Základní rychlost větru $V_{b,0}$

Je charakteristická hodnota, pravděpodobnost překročení v jednom roce je 0,02. Vychází se z doby návratu 50 let.

Základní rychlost větru se definuje jako desetiminutová rychlost větru v 10 metrech nad zemí, v otevřené krajině. Není závislá na ročním období ani na jejím směru.

Tabulka 1: Základní rychlost větru

Oblast		Základní rychlost větru $V_{b,0}$ [m/s]
I		22,5
II		25
III		27,5
IV		30
V		36



Obrázek 21: Mapa větrných oblastí ČR

Střední rychlost větru $V_{h(h)}$

Odvíjí se od základní rychlosti větru V_{b0} , součinitele směru větru c_{dir} , referenční výšky uvažované složky nad zemí h , parametru drsnosti terénu z_0 a součinitele orografie c_0 .

Hodnota součinitele směru větru c_{dir} pro různé směry větru je stanovena v národní příloze [4]. Doporučená hodnota je 1,0.

Referenční výška nad zemí h závisí na prvku vedení, na které zatížení působí.

Parametr drsnosti terénu z_0 a součinitel terénu k_r charakterizují drsnost terénu (Tabulka 2).

Tabulka 2: Kategorie terénu, parametr drsnosti terénu z_0 a součinitel terénu k_r

Kategorie terénu		z_0 [m]	k_r
0	Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři	0,003	0,155
I	Jezera nebo ploché a vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací	0,01	0,169
II	Oblasti, s nízkou vegetací jako je tráva, a s izolovanými překážkami (stromy, budovy) jejichž vzdálenost je větší než 20násobek jejich výšky	0,05	0,189
III	Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami a izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je max. 20násobek jejich výšky (vesnice, předměstí, les)	0,3	0,214
IV	Oblasti, kde je min. 15% povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž prům. výška je větší než 15 m.	1	0,233

Doporučená hodnota součinitele orografie je 1,0 v případě, že je sklon návětrné strany do 5 %.

Vztah pro výpočet střední rychlosti větru:

$$V_h(h) = V_{b,0} \cdot c_{dir} \cdot c_0 \cdot k_r \cdot \ln \frac{h}{z_0}. \quad (3.1)$$

Intenzita turbulence $I_v(h)$

Je definována v referenční výšce nad zemí h jako podíl směrodatné odchylky turbulence a střední rychlosti větru.

$$I_v(h) = \frac{1}{c_0 \cdot \ln\left(\frac{h}{z_0}\right)} \quad (3.2)$$

Maximální tlak větru $q_p(h)$

Tlak větru, který uvažuje vliv intenzity turbulence v dané referenční výšce.

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{m^2}(z) \quad (3.3)$$

Výpočet maximálního tlaku větru na konstrukci:

$h=$	26,099	m	Maximální referenční výška, konzervativně použita pro všechna pole.
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">oblast II</div>			Oblast podle ČSN EN 1991-1-4 Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..
$v_{b,0}=$	25,00	m/s ²	Fundamentální hodnota základní rychlost větru.
$c_{dir}=$	1,00		Součinitel směru větru.
$c_{season}=$	1,00		Součinitel ročního období.
$v_b=$	25,00	m/s ²	Základní rychlost větru.
$\rho=$	1,23	kg/m ³	Hustota vzduchu.
$H=$	26,099	m	Referenční výška.
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Terén III</div>			Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami a izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je max. 20násobek jejich výšky (vesnice, předměstí, les).
$z_0=$	0,30	m	Parametr drsnosti terénu.
$k_r=$	0,214		Součinitel terénu.
$c_0=$	1,00		Součinitel orografie.
$V_h(h)=$	23,89	m/s	Střední rychlost větru v referenční výšce.

$I_v(h)=$	0,224	Intenzita turbulence v referenční výšce.
$q_p(h)=$	0,56 N/m ²	Maximální tlak větru v referenční výšce.

Vítr na příhradové konstrukce

Pro příhradové konstrukce se působení větru vyjadřuje součinitelem plnosti φ , který zohledňuje prodyšnost konstrukce.

Je nutné vypočítat součinitel síly:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (3.4)$$

,kde je:

$C_{f,0}$ součinitel síly pro příhradové konstrukce bez vlivu proudění kolem volných konců a je funkcí součinitele plnosti φ a Reynoldsova čísla Re .

Re Reynoldsovo číslo pro střední průměr prvku b_i

Součinitel plnosti je potom definován:

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (3.5)$$

Kde:

A součet průmětů ploch prutů a styčnickových plechů do čelní plochy
 $A = \sum b_i \cdot l_i + \sum A_{Gk}$;

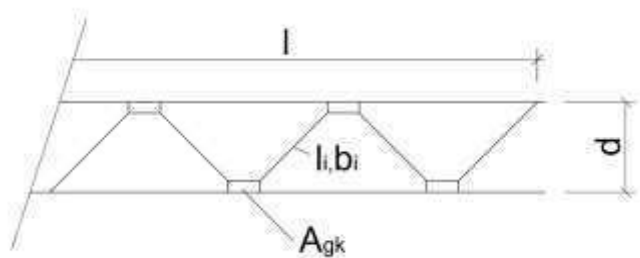
A_c plocha ohraničená okraji čelní plochy, promítnutá kolmo k čelní ploše = $d \cdot l$;

l délka příhradové konstrukce;

d šířka příhradové konstrukce;

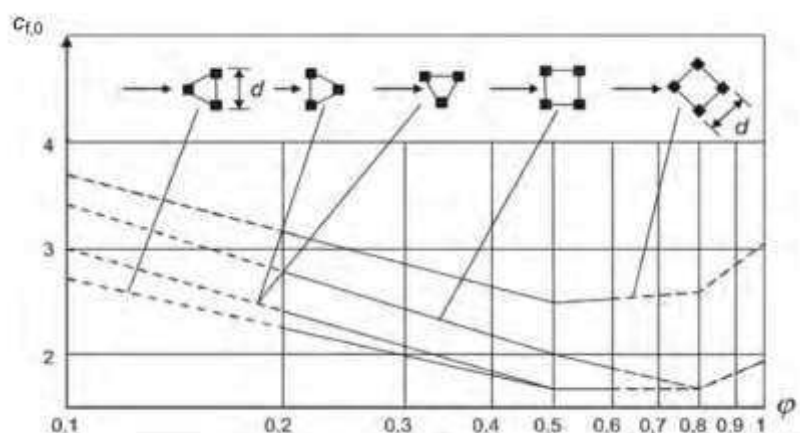
$b_i \cdot l_i$ šířka a délka i -tého prutu

A_{Gk} plocha k -tého styčnickového plechu



Obrázek 22: Příhradová konstrukce

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot A_{ref} \quad (3.6)$$



Obrázek 23: Součinitel síly $c_{f,0}$ pro prostorovou příhradovou konstrukci s pruty z úhelníků jako funkce součinitele plnosti φ

Pro výpočet koncového součinitele ψ_λ je nutno vyjádřit efektivní štíhlost λ , která je závislá na rozměrech a poloze konstrukce.

Pro dlouhé a štíhlé konstrukce se může vzít konzervativně $\psi_\lambda=1$.

a) Příčný vítr na příhradovou konstrukci mostu

Příhradová konstrukce je navržena se svařovanými styčníky, proto není ve výpočtu zohledněna plocha styčnickových plechů A_{Gk} .

Působení v příčném směru je modelováno jako dva zatěžovací stavy s kladnou a zápornou orientací (y^+, y^-).

$A=$	20,14	m^2	Součet průmětů ploch prutů.
$A_c=$	64,8	m^2	Plocha ohraničená okraji čelní plochy.
$\varphi \approx$	0,4		Součinitel plnosti.
$C_{f,0}=$	2,2		Součinitel síly bez vlivu proudění.
$\psi_\lambda=$	1		Součinitel koncového efektu.
$C_f=$	2,2		Součinitel síly.

Síla od větru na jedno příhradové pole:

Zjednodušeně se zatížení větrem vyjádří jako síla působící ve styčnicích horního i dolního pásu.

$$F_{w,k,y} = 0,25 \cdot \frac{F_w}{l} \cdot d \quad (3.7)$$

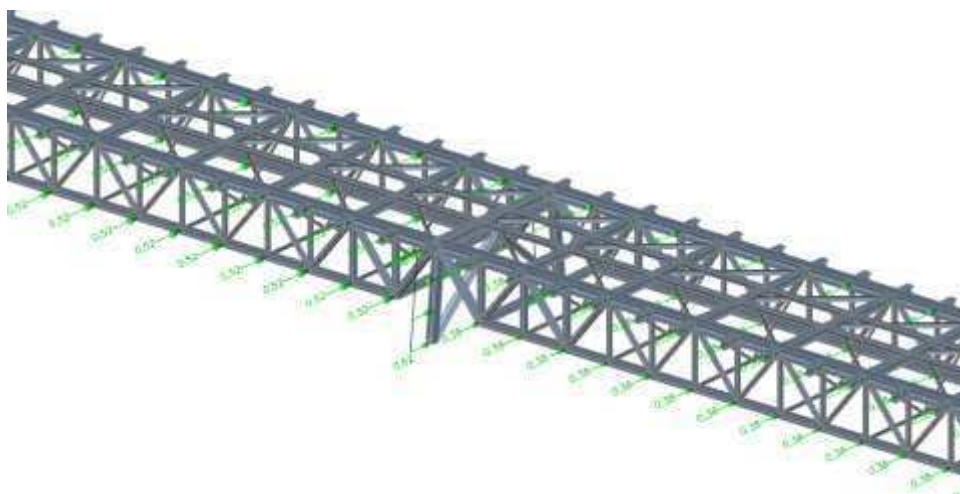
$F_w = 31,95 \quad kN$ Síla od větru na jedno příhradové pole.

6.POLE Pro $l = 26,5m$.

$F_{w,k} = 0,54 \quad kN$ Síla do styčnicku pro 1. pole.

1-5. POLE Pro $l = 36m$.

$F_{w,k} = 0,4 \quad kN$ Síla do styčnicku pro 2-6. pole.



Obrázek 24: Zatížení větrem v příčném směru na 6. a 5. pole.- y+

b) Podélný vítr na příhradovou konstrukci mostu

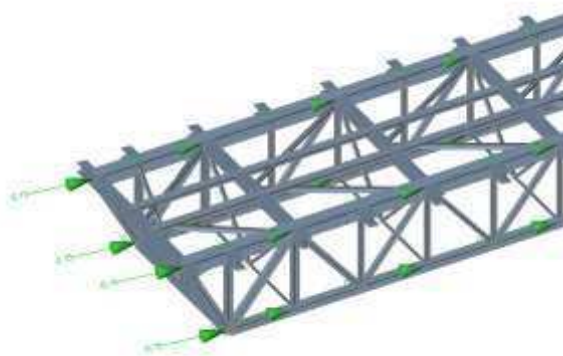
Působení v podélném směru se uvažuje jako polovina příčného zatížení a je modelováno jako dva zatěžovací stavy s kladnou a zápornou orientací (x+,x-).

6.POLE Pro $l = 26,5m$.

$F_{w,k} = 0,27 \quad kN$ Síla do styčnicku pro 6. pole.

1-5. POLE Pro $l = 36m$.

$F_{w,k} = 0,2 \quad kN$ Síla do styčnicku pro 1-5. pole.



Obrázek 25: Zatížení větrem v podélném směru na 6. pole. - x+

c) Podélný vítr na kyvnou stojku

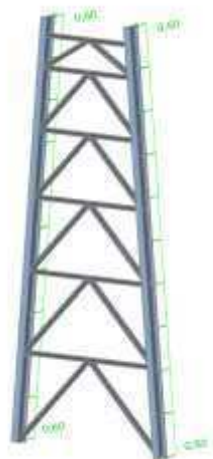
Účinky větru v ose x. Konstrukce kyvné stojky je opět se svařovanými styčníky.

$A_c =$	6.H	m^2	Plocha ohraničená okraji čelní plochy.
$\varphi \approx$	0,15		Součinitel plnosti (konzervativní návrh).
$A_{ref} = \varphi \cdot A_c$			Referenční plocha.
$A_{ref} =$	1,1.H	m^2	
$C_{f,0} =$	2		Součinitel síly bez vlivu proudění.
$\psi_\lambda =$	1		Součinitel koncového efektu.
$C_f =$	2		Součinitel síly.
$F_w =$	1,2.H	m^2	Síla od větru na jednu konstrukci kyvné stojky.

Zatížení je počítáno jako spojitě- přepočtené pouze na hlavní sloupy kyvné stojky.

$$f_{w,k,x} = 0,5 \cdot \frac{F_w}{H} = 0,5 \cdot \frac{1,2H}{H} \quad (3.8)$$

$f_{w,k,x} =$	0,6	kN/m	Spojitě zatížení na jeden pás kyvné stojky.
---------------	-----	--------	---



Obrázek 26: Zatížení větrem v podélném směru na kyvnou stojku.- x+

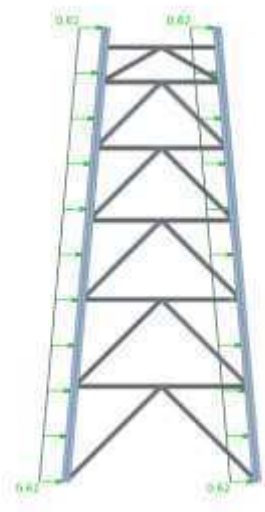
d) Příčný vítr na kyvnou stojku

$A_{ref} =$	2.HEB550.H		Referenční plocha.
$A_{ref} =$	1,1.H	m^2	
$C_{f,0} =$	2		Součinitel síly bez vlivu proudění.
$\psi_\lambda =$	1		Součinitel koncového efektu.
$C_f =$	2		Součinitel síly.
$F_w =$	1,23.H	m^2	Síla od větru na jednu konstrukci kyvné stojky.

Síla od působícího větru se vyjádří jako spojitě zatížení.

$$f_{w,k,y} = 0,5 \cdot \frac{F_w}{H} = 0,5 \cdot \frac{1,23H}{H} \quad (3.9)$$

$$f_{w,k,y} = 0,62 \quad kN/m \quad \text{Spojitě zatížení na jeden pás kyvné stojky.}$$



Obrázek 27: Zatížení větrem v příčném směru na kyvnou stojku- y+

e) Větr na konstrukci dopravníku- pomocný model

- **Zatížení větrem na obloukovou střechu**

Reakce od obloukové střechy jsou určeny pro rozložení větru podle [4], čl. 7.2.8 (obdobné výsledky lze obdržet i pro aproximaci sedlovým přístřeškem podle čl. 7.3).

Pro obloukovou střechu platí vztah:

$$\frac{f}{d} = 0,5 \quad (3.10)$$

Hodnoty součinitele vnějších tlaků:

$$C_{pe,10,A} = +0,8$$

$$C_{pe,10,B} = -1,2$$

$$C_{pe,10,C} = -0,4$$

Odpovídající spojité zatížení:

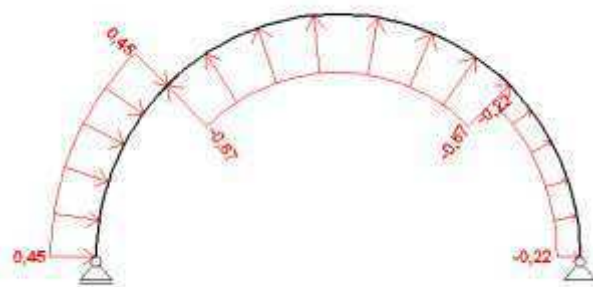
$$w_k = q_p \cdot c_{pe,10} \quad (3.11)$$

Hodnoty zatížení na příslušných částech částech:

$$w_{k,A} = +0,448$$

$$w_{k,B} = -0,672$$

$$w_{k,C} = -0,224$$



Obrázek 28: Zatížení větrem na střechu dopravníku

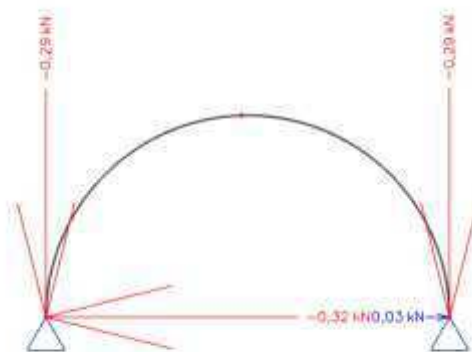
Výsledné reakce jako spojité zatížení na podélníky:

$$f_{w,z,1,k} = -0,29 \text{ kN/m}$$

$$f_{w,z,2,k} = -0,29 \text{ kN/m}$$

$$f_{w,x,1,k} = 0,32 \text{ kN/m}$$

$$f_{w,x,1,k} = -0,03 \text{ kN/m}$$



Obrázek 29: Výsledné reakce od zatížení větrem na obloukovou střechu

- **Podélný vítr- na konstrukci dopravníku**

Popsaný postup výpočtu zatížení větrem s využití součinitele plnosti platí jak pro příhradové konstrukce, tak pro lešení dle [4].

Pro výpočet větru na konstrukci dopravníku tedy využijeme stejného postupu stanovení zatížení jako na samotnou konstrukci mostu.

Konstrukce je navržena pro stanovení účinků zatížení, nicméně její návrh ani posudek není v kompetenci stavební profese. Návrh je proveden z L a U profilů různé velikosti pro sloupky, příčníky a podélníky.

$A=$	0,408	m^2	Součet průmětů ploch prutů.
$A_e=$	1,44	m^2	Plocha ohraničená okraji čelní plochy.
$\varphi \approx$	0,28		Součinitel plnosti.
$C_{f,0}=$	2		Součinitel síly bez vlivu proudění.
$\psi_\lambda=$	1		Součinitel koncového efektu.
$C_f=$	2		Součinitel síly
$A_{ref}=$	0,403	m^2	Referenční plocha
$F_w=$	0,45	kN	Síla od větru na dopravník.

Síla od působícího větru se vyjádří jako spojitě zatížení na sloupky a příčníky.

Na sloupky:

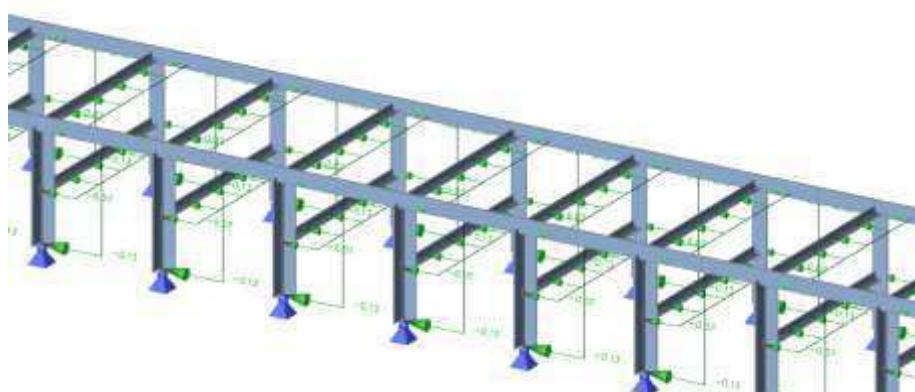
$$f_{w,k,x} = 0,25 \cdot \frac{F_w}{H} \quad (3.12)$$

$$f_{w,k,x} = 0,125 \quad kN/m \quad \text{Spojitě zatížení na jeden sloupek.}$$

Na příčníky:

$$f_{w,k,x} = 0,25 \cdot \frac{F_w}{L} \quad (3.13)$$

$$f_{w,k,x} = 0,071 \quad kN/m \quad \text{Spojitě zatížení na jeden příčník.}$$



Obrázek 30: Stanovené zatížení od podélného větru na dopravník

- Příčný vítr- na konstrukci dopravníku**

$A_{ref}=$	0,376	m^2	Referenční plocha
$C_{f,0}=$	2		Součinitel síly bez vlivu proudění.

$\psi_\lambda =$	1		Součinitel koncového efektu.
$C_f =$	2		Součinitel síly
$F_w =$	0,42	kN	Síla od větru na dopravník.

Síla od působícího větru se vyjádří jako spojitě zatížení na sloupky a podélníky.

Na sloupky:

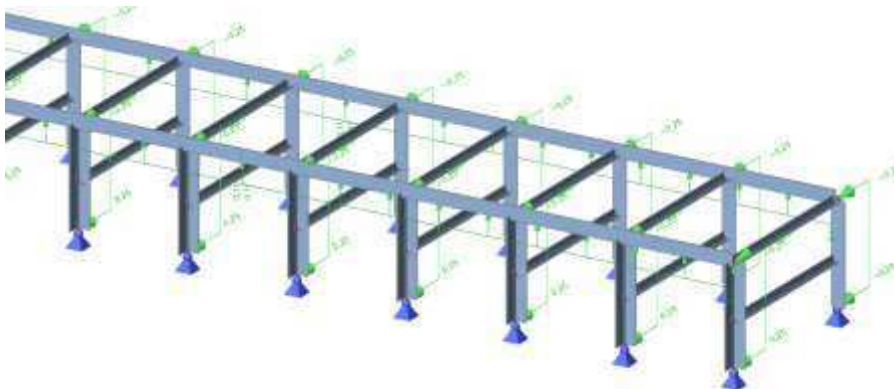
$$f_{w,k,x} = 2/3 \cdot \frac{F_w}{H} \quad (3.14)$$

$$f_{w,k,x} = 0,312 \quad kN/m \quad \text{Spojitě zatížení na jeden sloupek.}$$

Na příčnický:

$$f_{w,k,x} = 1/3 \cdot \frac{F_w}{L} \quad (3.15)$$

$$f_{w,k,x} = 0,14 \quad kN/m \quad \text{Spojitě zatížení na jeden podélník.}$$



Obrázek 31: Stanovené zatížení od příčného větru na dopravník

Reakce od působení větru na dopravník:

Na pomocném modelu byly modelovány všechny složky působení větru. Výsledné reakce jsou použity jako zatížení větrem v komplexním 3D modelu mostu.

Reakce od zatížení dopravníku **podélným** větrem

$$R_x = 0,19 \quad kN \quad \text{Ve směru osy x}$$

Reakce od zatížení dopravníku **příčným** větrem

$$R_y = 0,25 \quad kN \quad \text{Ve směru osy y}$$

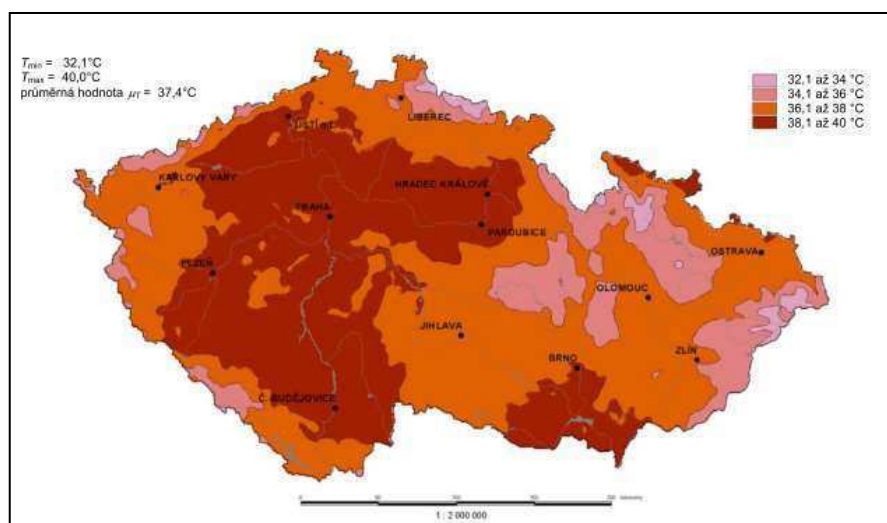
Reakce od zatížení větrem na **zastřešení**

$R_{z,1} =$	-0,48	kN	Ve směru osy z
$R_{z,2} =$	-0,17	kN	Ve směru osy z
$R_{x,1} =$	0,17	kN	Ve směru osy x
$R_{x,2} =$	0,16	kN	Ve směru osy x

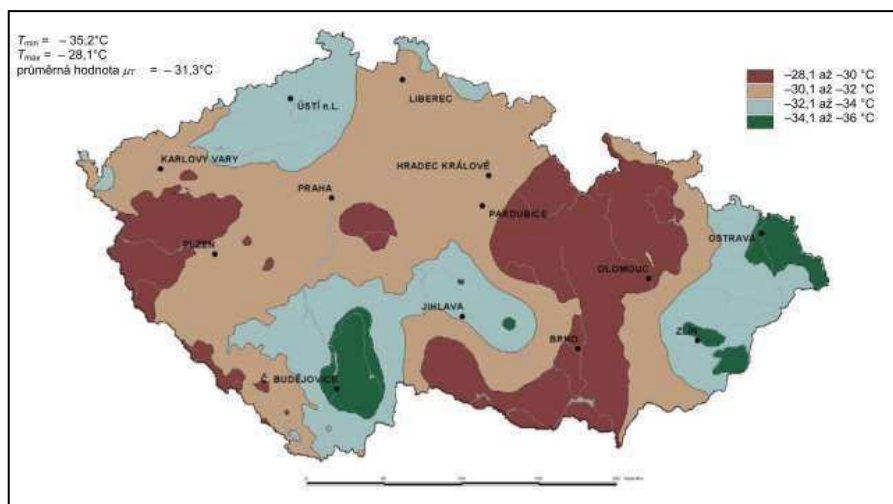
III. Zatížení změnou teploty

Teplota je velmi důležitý klimatický činitel z hlediska chování mostu. Zatížení se umísťuje na všechny prvky mostu, aby se správně modelovalo spolupůsobení jednotlivých částí. Změna teploty způsobí změnu délky mostu a to tak, že při zvýšení teploty se most prodlouží a při snížení dochází ke zkrácení mostu a zvýšení mechanického napětí. Pro dimenzování dilatace je právě zatížení teplotou jeden z hlavních účinků.

V normě [5] jsou uvedeny oblasti s maximální (Obrázek 32) a minimální (Obrázek 33) teplotou.



Obrázek 32: Hodnoty maximální teploty vzduchu ve stínu [5]



Obrázek 33: Hodnoty minimální teploty ve stínu [5]

Maximální teplota v létě, u nadzemních částí pozemních staveb, se světle jasným povrchem je $T_{\max} + T_3$, kde $T_3 = 9 \text{ °C}$, pro severovýchodně orientované konstrukce.

Minimální teplota v zimě, u nadzemních částí pozemních staveb je T_{\min} .

Lokalita: Chvaletice

$T_{\max} =$	40	°C	Maximální teplota v létě.
$T_{\min} =$	-32	°C	Minimální teplota v zimě.
$T_{\text{létó}} =$	49	°C	Součinitel síly bez vlivu proudění.
$T_{\text{zima}} =$	-32	°C	Součinitel koncového efektu.

Předepsaný rozptyl montážních hodnot:

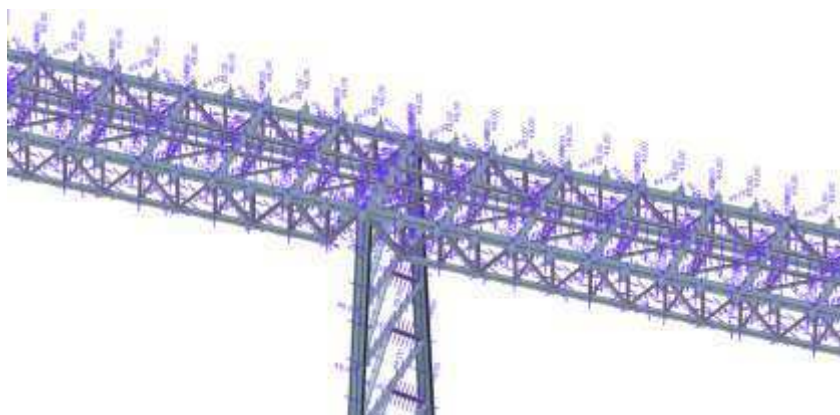
$$T_0 = 0 \text{ až } 15 \text{ °C}$$

Léto:

$$\Delta T_N = T_{\text{létó}} - T_{0,\min} = 49 - 0 = 49 \text{ °C}$$

Zima:

$$\Delta T_N = T_{\text{zima}} - T_{0,\max} = -32 - 15 = -47 \text{ °C}$$

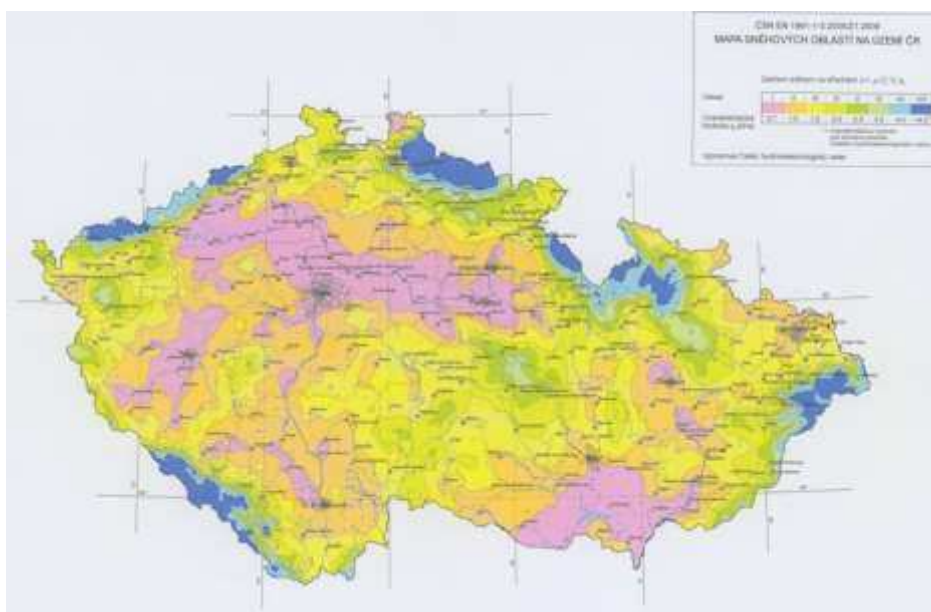


Obrázek 34: Zatížení maximální teplotou

IV. Zatížení sněhem

Zatížení sněhem působí na zastřešení dopravníků a obslužné plošiny a je stanoveno dle [3].

Charakteristická hodnota zatížení sněhem s_k byla určena z mapy sněhových oblastí (Obrázek 35) dle konkrétní lokality umístění.

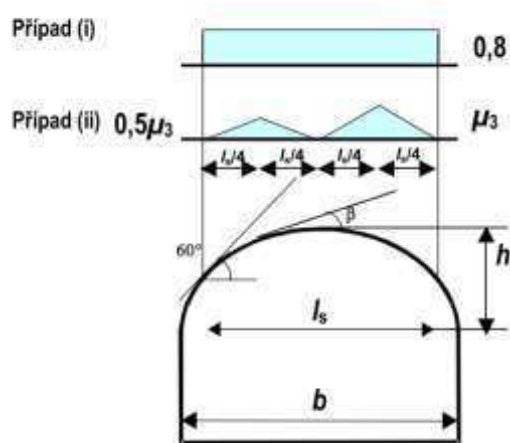


Obrázek 35: Mapa sněhových oblastí v ČR [3].

a) Zatížení sněhem na konstrukci dopravníku

- zastřešení dopravníku

Tvarový součinitel pro střechy je určen z normy [3] a je uvažováno prvním případem (i), (Obrázek 36).



Obrázek 36: Tvarové součinitele zatížení sněhem pro válcovou střechu.

Lokalita: Chvaletice

$s_k =$	0,75	kN/m^2	Charakteristická hodnota zatížení sněhem.
$C_e =$	1,0		Součinitel expozice- pro normální typ krajiny.
$C_t =$	1,0		Tepelný součinitel.
$\mu =$	0,8		Tvarový součinitel pro zatížení sněhem.
$l_s =$	1,38	m	Zatěžovací šířka zastřešení dopravníku.

Charakteristická hodnota zatížení:

$$s_k = \mu \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,75 = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

Charakteristická hodnota zatížení na horní podélník konstrukce dopravníku:

$$s_{k,1} = l_s \cdot 1/2 \cdot s_k = 1,38 \cdot 0,5 \cdot 0,6 = 0,414 \text{ kN/m}$$

Reakce od působení sněhu na dopravník:

Reakce od zatížení dopravníku **podélným** větrem

$$R_z = 0,414 \text{ kN} \quad \text{Ve směru osy z}$$

b) Zatížení sněhem konstrukci mostu

• Zatížení na pochůzí lávky

Pro stanovení tvarového součinitele je uvažován sklon plošiny do 5°.

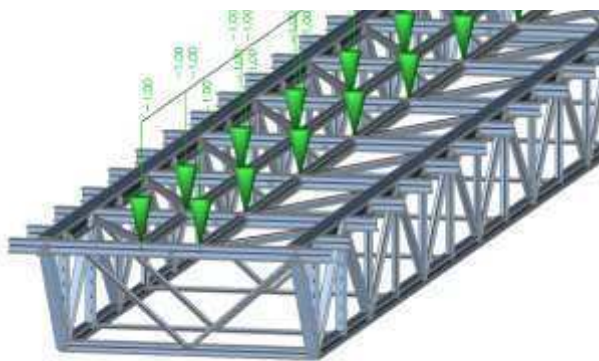
$\mu =$	0,8		Tvarový součinitel pro zatížení sněhem.
$s_k =$	0,6	kN/m^2	Charakteristická hodnota zatížení.
$l_{s1} =$	1,5	m	Zatěžovací šířka konzoly.
$l_{s2} =$	0,5	m	Zatěžovací šířka vnitřního podélníku

Charakteristická hodnota zatížení na konzolu:

$$s_{k,1} = l_{s1} \cdot s_k = 1,5 \cdot 0,6 = 0,9 \text{ kN/m}$$

Charakteristická hodnota zatížení na vnitřní podélník:

$$s_{k,2} = l_{s2} \cdot s_k = 0,5 \cdot 0,6 = 0,3 \text{ kN/m}$$



Obrázek 38: Užité zátížení- obslužná plošina

b) Užité zátížení na konstrukci dopravníku- pomocný model

• Transportovaný materiál

Maximální zátížení zadané zadavatelem je 350 kg/m na jeden pás.

$m = 350 \text{ kg/m}$ Maximální hmotnost přepravovaného materiálu.

$q_k = 3,5 \text{ kN/m}$ Charakteristická hodnota zátížení.

$\delta = 1,2$ Dynamický součinitel.

$b = 1,4 \text{ m}$ Roznášecí šířka.

Charakteristická hodnota zátížení do jednoho sloupku:

$$Q_{k,1} = 0,5 \cdot b \cdot q \cdot \delta = 0,5 \cdot 1,4 \cdot 3,5 \cdot 1,2 = 2,94 \text{ kN}$$

Reakce od působení transportovaného materiálu na dopravník:

Reakce od zátížení dopravníku **transportovaným materiálem.**

$R_z = 2,94 \text{ kN}$ Ve směru osy z

4. GLOBÁLNÍ ANALÝZA

4.1. Stabilitní výpočet

Globální analýza konstrukce byla provedena v programu Scia Engineer.

Program [] využívá Lineárně Bifurkační analýzu (LBA), což je lineární, pružnostní stabilitní analýza, kterou je možné zjistit vlastní tvary stability, jednotlivých prvků, ale také hodnotu vlastního tvaru pro globální stabilitu.

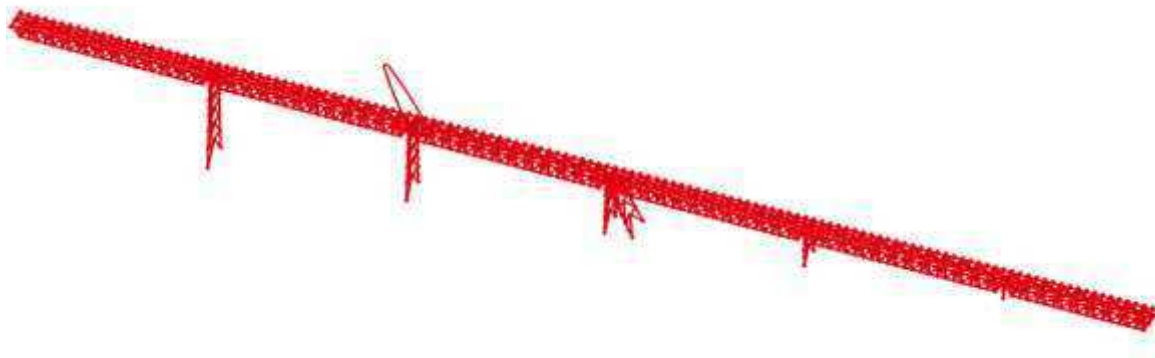
Hodnota α_{cr} , která je výsledkem LBA, je násobkem maximální hodnoty zatížení, kterou je konstrukce /prvek schopna přenést, než ztratí stabilitu.

V případě že je hodnota α_{cr} menší než 10 doporučuje norma [7] použít nelineárně stabilitní výpočet.

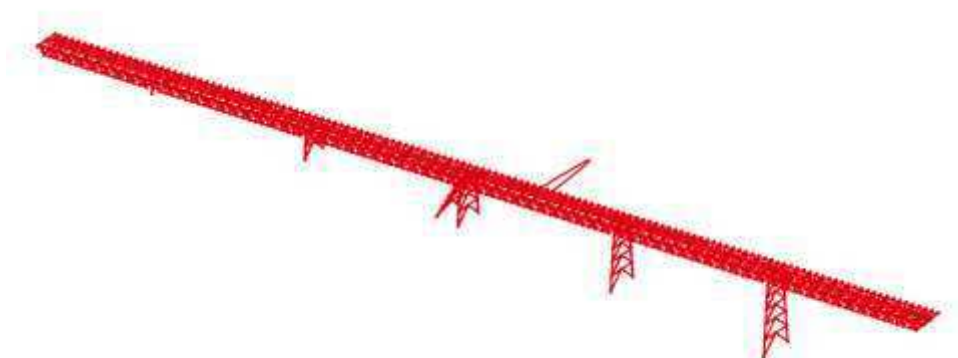
Konstrukce mostu je dostatečně tuhá a horní pás je ztužen jak v příčné tak v podélné rovině. Při lineárním stabilitním výpočtu dochází ke ztrátě stability jednotlivých prutů a bylo by obtížné najít tvar, kdy dojde ke ztrátě stability konstrukce. Proto je provedena kontrola stability nelineárně stabilitním výpočtem. Prvních deset vlastních tvarů opět dochází k vybočení jednotlivých prutů či sloupů (viz. Obrázek 39 a 40).

Tabulka 3: Srovnání prvních deseti vlastních tvarů, výpočet lineární a nelineární stabilitou.

Lineární stabilita		Nelineární stabilita	
n	$\alpha_{cr} [-]$	n	$\alpha_{cr} [-]$
1	3,38	1	3,00
2	3,38	2	3,00
3	3,47	3	3,01
4	3,48	4	3,01
5	3,49	5	3,08
6	3,49	6	3,08
7	3,63	7	3,13
8	3,64	8	3,13
9	3,64	9	3,13
10	3,65	10	3,13



Obrázek 39: První vlastní tvar při lineárně stabilitním výpočtu (16x zvětšeno).



Obrázek 40: První vlastní tvar při nelineárně stabilitním výpočtu 3D konstrukce (16x zvětšeno).

4.2. Vnitřní síly získané globální analýzou

Na 3D modelu konstrukce byly zadány účinky zatížení a vytvořeny rozhodující kombinace podle vzorce 6.10 dle normy [1]. Kombinace zatížení jsou uvedeny v Příloze 1.

Tabulka 4: Rozhodující vnitřní síly na jednotlivých prvcích příhradového pole.

NOSNÁ KONSTRUKCE MOSTU				PŘÍHRADOVÉ POLE
Prvek	My [kNm]	N [kN]	Mz [kNm]	
P1	45,59	-1808,12	-0,44	
P1	-33,96	205,82	21,51	
P1	-210,38	-133,84	10,98	
P1	84,12	-1684,71	-2,75	
P1	1,29	89,68	-29,31	
P1	0,88	77,29	32,21	
P2	0	-1,35	0	
P2	3,61	1973,05	-0,22	
P2	-10,36	487,83	1,55	
P2	17,17	1913,99	-0,34	
P2	-5,12	532,38	-2,32	
P2	-5,12	532,37	2,33	
P3	0,31	-123,33	0,36	
P3	3,35	82,3	-0,21	
P3	-3,48	-16,96	0,52	
P3	3,53	67,9	-0,65	
P3	2,93	-18,01	-1,86	
P3	2,93	-18	1,86	
P4	2,49	-450,25	1,55	
P4	-3,63	-449,35	3,51	
P4	4,66	-378,2	0,96	
P4	-3,38	-438,26	-5,03	
P4	-3,37	-435,34	4,73	
P5	1,23	-255,39	0,5	
P5	2,43	400,54	1,13	
P5	-1,9	400,1	-0,19	
P5	-0,4	-250,19	-1,48	
P5	-0,4	-250,51	1,47	
P6	0	528,77	0	
P6	-7,33	516,69	0,77	
P6	-2,34	457,25	-1,29	
P6	-2,34	457,26	1,29	

Tabulka 5: Rozhodující vnitřní síly na ostatních prvcích konstrukce mostu.

Prvek	My [kNm]	N [kN]	Mz [kNm]	M _x [kNm]	V _y [kN]	V _z [kN]
O1	11,75	-73,93	2,89	-0,3	7,32	-1,39
O1	11,29	19,14	-5,16	-0,59	4,77	-8,48
O1	27,42	3,89	17,84	1,98	-55,84	-1,85
O1	28,49	-16,26	-10,45	-2,12	55,46	6,55
O1	-13,9	-13,04	-3,81	0,31	-3,4	-32,66
O1	-13,95	-13,8	-3,84	-0,32	3,42	32,65
O1	30,42	-14,7	-11,42	-2,12	54,58	6,51
O1	26,99	12,78	16,68	2,06	-54,76	-2,05
O1	-28,07	-43,52	-10,06	0,61	-10,58	-24,18
O1	37,83	-12,79	-0,01	-0,17	3,27	-0,23
O2	12,83	-111,01	-1,54	V _z		
O2	0	55,02	0			
O2	-6,29	-52,29	0,8			
O2	9,34	-52,33	-0,99			
O2	9,08	-55,79	-1,04			
O2	-5,82	-55,75	0,84			
O3	0	-115,35	0	10,41		
O3	0	-1,88	0	0,05		
O3	0	-23,29	0	0,05		
O3	9,67	-34,7	0	-10,76		
O3	9,27	-108,66	0	10,72		
O4	-0,04	-3,9	0	V _z		
O4	-0,04	4,45	0			
O4	0,05	0,18	0			
O4	-0,03	1,77	0			
O4	-0,03	1,65	0			
O5	-1,37	0	0	-4,14		
O5	-1,37	0	0	-4,15		
O5	0	0	0	-2,52		
O5	-0,56	0	0	-0,78		
O5	-0,38	0	0	4,15		

Podle výsledku namáhání je horní pás posouzen na vzpěr, kombinaci tlaku a dvouosého ohybu a zohledněno kroucení prutu.

Průřezové charakteristiky HEB260, ocel S355:

$A=$	1,18E-02	m^2	Průřezová plocha.
$W_{pl,y}=$	1,28E-03	m^3	Plastický modul průřezu k ose y.
$W_{pl,z}=$	6,02E-04	m^3	Plastický modul průřezu k ose z.
$i_y=$	112	mm	Poloměr setrvačnosti k ose y-y.
$i_z=$	66	mm	Poloměr setrvačnosti k ose z-z.
$I_w=$	7,54E-07	m^6	Výsečový moment setrvačnosti.
$I_T=$	1,24E-06	m^4	Moment tuhosti v prostém kroucení.
$I_z=$	5,14E-05	m^4	Moment setrvačnosti k ose z.

Vzpěrné délky:

Vzpěrné délky jsou určeny konzervativně. V rovině příhrady je horní pás ztužen svislicemi a z roviny je podepřen příčníky.

$L_{cr,y}=$	1507,5	mm	Vzpěrná délka v rovině příhrady
$L_{cr,z}=$	3015,1	mm	Vzpěrná délka z roviny příhrady
$L_{LT}=$	1507,5	mm	Klopící délka

Vzpěr y-y:

Vzpěr ve směru tuhé osy (nerozhoduje).

Pro osový tlak prutu se vyjádří součinitel vzpěrnosti vztahem:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}} \quad (4.1)$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \quad (4.2)$$

Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \quad (4.3)$$

Kde je :

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (4.4)$$

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] \quad (4.5)$$

Součinitel imperfekce α určíme z tabulky v normě [7]. Pro válcované HEB nosníky, je křivka vzpěrné pevnosti v ose y-y b a v ose z-z- křivka c .

Výpočet:

$\lambda_y =$	13,46	
$\lambda_1 =$	76,399	
$\bar{\lambda}_y =$	0,176	
$\alpha =$	0,34	Součinitel imperfekce pro křivku b .
$\phi =$	0,511	
$\chi_y =$	1,01	≤ 1

Vzpěr z-z:

Vzpěr ve směru měkké osy.

$\lambda_z =$	45,683	
$\lambda_1 =$	76,399	
$\bar{\lambda}_z =$	0,598	
$\alpha =$	0,49	Součinitel imperfekce pro křivku c .
$\phi =$	0,776	
$\chi_z =$	0,787	≤ 1

Klopení:

Součinitel klopení se stanoví ze vztahu:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad (4.6)$$

Kde je poměrná štíhlost a součinitel dán vztahem:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl} f_y}{M_{cr}}} \quad (4.7)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \quad (4.8)$$

Součinitel imperfekce při klopení se opět určí z tabulky v normě [7], záleží na způsobu výroby a poměru výšky a šířky profilu.

Pružný kritický moment M_{cr} se určí pro plný průřez, kdy jsou zohledněny zatěžovací podmínky, skutečné rozdělení momentů a příčné podepření.

Obecný vztah pro nosníky konstantního průřezu, symetrického k ose y-y nebo z-z:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L_{cr}} \quad (4.9)$$

Potom bezrozměrný kritický moment je dán vztahem:

$$\mu_{cr} = \frac{c_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (c_2 \zeta_g)^2} - c_2 \zeta_g \right] \quad (4.10)$$

Přičemž:

c_1, c_2, c_3 jsou součinitele závislé na zatížení a podmínkách uložení konců,

L je délka nosníku zajištěného kolmo z roviny,

k_z a k_w jsou součinitele vzpěrné délky.

Bezrozměrný parametr kroucení k_{wt} je vyjádřen:

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} \quad (4.11)$$

Výpočet:

$k_z =$	1	Uloženo na obou koncích kloubově (v ohybu).
$k_w =$	1	Uloženo na obou koncích kloubově (v kroucení).
$k_{wt} =$	2,618	Bezrozměrný parametr kroucení.
$c_1 =$	1,35	Konstantní průběh ohybových momentů ($k_z = 1$)
$c_2 =$	-	Předpokládá se zatížení ve středu smyku ($\zeta_g = 0$).
$\mu_{cr} =$	3,78	Bezrozměrný kritický moment.

$M_{cr} =$	8,2E+9	Nmm	Pružný kritický moment.
$\overline{\lambda}_{LT} =$	0,236		Uloženo na obou koncích kloubově (v kroucení).
$\alpha_{LT} =$	0,21		Součinitel imperfekce při klopení (křivka a)
$\phi_{LT} =$	0,532		
$\chi_{LT} =$	0,992		Součinitel klopení.

Posudek na ohyb a osový tlak prutu:

Pruty namáhané na ohyb a osový tlak mají splňovat podmínky (pro pruty průřezu 1,2 a 3):

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (4.12)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (4.13)$$

kde k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} jsou součinitele interakce

$$k_{yy} = c_{my} \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_{yy} \cdot N_{Rk/\gamma_{M1}}} \right] \quad (4.14)$$

$$k_{zz} = c_{mz} \left[1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk/\gamma_{M1}}} \right] \quad (4.15)$$

Pro I a H průřezy je dle normy [7] součinitel $k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy}$.

Výpočet:

$N_{Rk} =$	$A \cdot f_y =$		
$N_{Rk} =$	4203,2	kN	Charakteristická hodnota únosnosti v tahu.
$M_{y,Rk} =$	$W_{y,pl} \cdot f_y =$		
$M_{y,Rk} =$	455,47	kNm	Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose y-y.
$M_{z,Rk} =$	$W_{z,pl} \cdot f_y =$		
$M_{z,Rk} =$	213,781	kNm	Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose z-z.
$k_{zy} =$	0,496		
$k_{zz} =$	0,838		

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,54 + 0,23 + 0,04 = 0,81$$

$$= 0,54 + 0,23 + 0,04 = \underline{\underline{0,81}} \leq 1$$

VYHOVUJE

Odpovídající napětí:

$$\sigma_{x,N,M} = 0,58 \cdot 355 = 205,9 \text{ MPa}$$

Napětí od kroucení:

Výpočet dle zjednodušené analogie.

Bimoment reprezentuje intenzitu celkového účinku normálových napětí. Je získán dosazením vztahu pro normálové napětí a vyjádřen:

$$B_{Ed} = \int M_{x,Ed} dx \quad (4.16)$$

Hlavní výsečová plocha:

$$w = \frac{1}{4} \cdot b \cdot h \quad (4.17)$$

Výsečové normálové napětí:

$$\sigma_{x,w} = \frac{B_{Ed}}{I_w} \cdot w_{max} \quad (4.18)$$

Výpočet:

$B_{Ed} =$	0,92	kNm^2	Bimoment.
$W_{max} =$	1,576E+04	mm	Hlavní výsečová plocha.
$\sigma_{x,w} =$	19,23	MPa	Výsečové normálové napětí.

Posudek:

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{x,N,M} + \sigma_{x,w} = 209,53 + 19,23 = 224,44$$

$\sigma_{x,Ed} =$	224,44 MPa	\leq	355,0 MPa
<u>VYHOVUJE</u>			

Prvek byl posouzen také v programu Scia Engineer. Kompletní posudek je obsažen v Příloze 2.

V tabulce 6 jsou srovnány jednotlivé body výpočtu a celkový výsledek posudku pro namáhání na tlak a dvousý ohyb.

Tabulka 6: Srovnání výsledku posudku dle normy a v programu Scia Engineer.

SROVNÁNÍ POSUDKŮ

Prvek	POSUDEK	rovina	$\gamma[-]$	$\chi[-]$	$c_m[-]$	$k[-]$	$N_{max} + M_{max,y} + M_z$
P1	norma	y-y	0,176	1,0	0,836	0,497	NORMA
	scia	y-y	0,18	1,0	0,84	0,51	0,61
	norma	z-z	0,598	0,787	0,632	0,838	SCIA
	scia	z-z	0,6	0,79	0,63	0,79	0,61

Výpočet dle normy vyhověl a využití profilu je 61%. Je vybrána nejhorší kombinace, způsobující maximální namáhání.

Další rozhodující kombinace jsou posouzeny ve statickém výpočtu viz. Příloha 2.

Snížením profilu bychom dosáhli vyššího využití prvku, ale z konstrukčního hlediska, s ohledem na provedení styčnicku, již nelze profil zmenšit.

- **Ostatní prvky příhradového pole**

Další prvky příhradového pole jsou posouzeny v Příloze 2, statickém výpočtu.

V tabulce 7 jsou uvedeny prvky, které byly posouzeny na ohyb a osový tlak/tah a jejich procentuální využití. Pro prvek P2 a P3 vyhodnotil program Scia Engineer, že je možné účinky kombinace osového tlaku a ohybových momentů, zanedbat.

Tabulka 7: Srovnání posudků dle normy a v programu Scia Engineer.

Posudek na ohyb a osově síly								
Prvek	rovina	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	χ [-]	χ_{LT} [-]	STAV	%	Scia
P1	y-y	-1809,55	27,88	1,00	0,99	VYHOVUJE	57,8%	61%
	z-z	-1809,55	0,03	0,787				
P2	y-y	1890,13	16,91	-	0,944	VYHOVUJE	76,9%	-
	z-z	1890,13	-0,9	-				
P3	y-y	-123,33	-3,48	-	0,99	VYHOVUJE	43,0%	-
	z-z	-123,33	-1,86	0,57				



Tlak



Tah

V tabulce 8 jsou uvedeny prvky, posouzené na prostý tah či vzpěr a jejich procentuální využití a srovnání se softwarem Scia Engineer.

Tabulka 8: Srovnání posudků osových sil dle normy a v programu Scia Engineer.

Posudek osových sil

Prvek	rovina	$N_{Ed} [kN]$	$L [mm]$	$L_{cr} [mm]$	$\alpha [-]$	$i [mm]$	$\lambda [-]$	$N_{Ed}/N_{b,Rd}$	Scia
P1	y-y	-1809,55	1507,5	1507,5	0,34	112	13,46	41,99%	52,0%
	z-z	-1809,55	3015,1	3015,1	0,49	66	45,68	53,83%	
P2	y-y	1950,86	1507,5	1507,5	-	85	-	70,38%	71,0%
	z-z	1950,86	1507,5	1507,5	-	51	-	70,38%	
P3	y-y	-89,94	1800	1800	0,34	42	42,86	11,36%	16,0%
	z-z	-89,94	1800	1800	0,49	25	72	16,95%	
P4	y-y	-432,32	2343	2343	0,34	50	49,22	43,98%	70%
	z-z	-432,32	2343	2343	0,49	31	79,39	69,18%	
P5	y-y	-257,22	2229	2229	0,34	42	53,07	35,37%	61%
	z-z	-257,22	2229	2229	0,49	25	89,16	61,86%	
P6	y-y	528,77	2343	2343	-	76	-	22,81%	22,0%
	z-z	528,77	2343	2343	-	45,7	-	22,81%	

Tlak

Tah

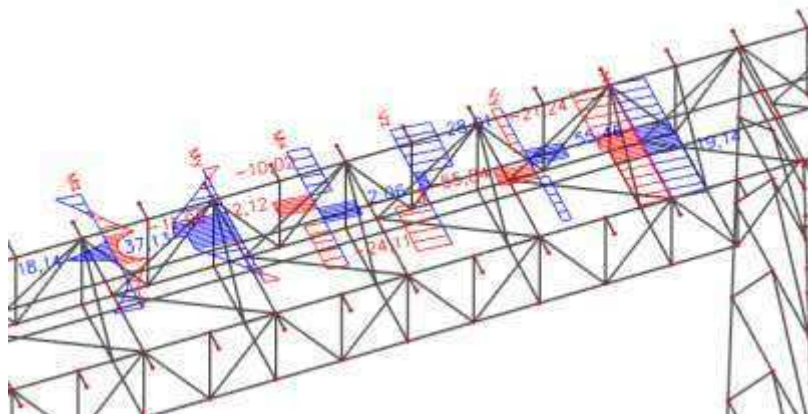
Rozdíly v normovaném posudku a výsledky posudku z programu Scia Engineer jsou minimální, zapříčiněné zaokrouhlením.

4.3.2. Příčníky- O1

1. Rozhodující kombinace zatížení:

$N_{\max Ed} =$	-79,93	kN	Maximální návrhová osová síla- tlak.
$M_{y, Ed} =$	11,75	kN/m	Návrhový ohybový moment k ose y-y.
$M_{z, Ed} =$	2,89	kN/m	Návrhový ohybový moment k ose z-z.

Podle výsledku namáhání, budou příčníky posouzeny na vzpěr, kombinaci tlaku a dvouosého ohybu a kombinaci tahu a dvouosého ohybu a bude také zohledněno kroucení příčníku.



Obrázek 43: Vnitřní síly na příčniku O1

Průřezové charakteristiky HEB260, ocel S355:

$A=$	5,43E-03	m^2
$W_{pl,y}=$	3,54E-04	m^3
$W_{pl,z}=$	1,70E-04	m^3
$i_y=$	68	mm
$i_z=$	40	mm
$I_w=$	4,79E-08	m^6
$I_T=$	3,12E-07	m^4
$I_z=$	8,89E-06	m^4
$S_y=$	1,77E-04	m^3
$S_z=$	8,45E-05	m^3
$I_y=$	2,49E-05	m^4

Vzpěrné délky:

$L_{cr,y}=$	4200	mm	Vzpěrná délka v rovině příhrady
$L_{cr,z}=$	500	mm	Vzpěrná délka z roviny příhrady
$L_{LT}=$	500	mm	Klopící délka

Výpočet:

Vzpěr y-y:

$\lambda_y=$	61,765	
$\lambda_1=$	76,399	
$\overline{\lambda}_y=$	0,808	
$\alpha=$	0,34	Součinitel imperfekce pro křivku b .
$\phi=$	0,93	

$$\chi_y = 0,719 \leq 1$$

Vzpěr z-z:

Vzpěr ve směru měkké osy.

$$\lambda_z = 12,5$$

$$\lambda_1 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,164$$

$$\alpha = 0,49 \quad \text{Součinitel imperfekce pro křivku c.}$$

$$\phi = 0,504$$

$$\chi_z = 1,019 \leq 1$$

Klopení:

$$k_z = 1 \quad \text{Uloženo na obou koncích kloubově (v ohybu).}$$

$$k_w = 1 \quad \text{Uloženo na obou koncích kloubově (v kroucení).}$$

$$k_{wt} = 3,963 \quad \text{Bezrozměrný parametr kroucení.}$$

$$c_1 = 1 \quad \text{Konstantní průběh ohybových momentů (} k_z = 1 \text{)}$$

$$c_2 = - \quad \text{Předpokládá se zatížení ve středu smyku (} \zeta_g = 0 \text{).}$$

$$\mu_{cr} = 4,09 \quad \text{Bezrozměrný kritický moment.}$$

$$M_{cr} = 5,58E+9 \quad Nmm \quad \text{Pružný kritický moment.}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,15 \quad \text{Uloženo na obou koncích kloubově (v kroucení).}$$

$$\alpha_{LT} = 0,21 \quad \text{Součinitel imperfekce při klopení (křivka a)}$$

$$\phi_{LT} = 0,506$$

$$\chi_{LT} = 1,011 \quad \text{Součinitel klopení.}$$

Posudek na ohyb a osový tlak prutu:

Pruty namáhané na ohyb a osový tlak mají splňovat podmínky (pro pruty průřezu 1,2 a 3):

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1$$

kde k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} jsou součinitele interakce

$$k_{yy} = c_{my} \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_{yy} \cdot N_{Rk/\gamma_{M1}}} \right]$$

$$k_{zz} = c_{mz} \left[1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk/\gamma_{M1}}} \right]$$

Pro I a H průřezy je dle normy [7] součinitel $k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy}$ a $k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$.

Výpočet:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y =$$

$$N_{Rk} = 1925,8 \quad kN \quad \text{Charakteristická hodnota únosnosti v tahu.}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y =$$

$$M_{y,Rk} = 125,67 \quad kNm \quad \text{Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose y-y.}$$

$$M_{z,Rk} = W_{z,pl} \cdot f_y =$$

$$M_{z,Rk} = 60,35 \quad kNm \quad \text{Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose z-z.}$$

$$k_{yz} = 1$$

$$k_{yy} = 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 0,05 + 0,091 + 0,03 = 0,175$$

$$= \frac{0,175}{1} \leq 1$$

VYHOVUJE

Odpovídající napětí:

$$\sigma_{x,N,M} = 0,175 \cdot 355 = 61,983 \quad \text{MPa}$$

Napětí od kroucení:

Výpočet dle zjednodušené analogie.

Bimoment reprezentuje intenzitu celkového účinku normálových napětí. Je získán dosazením vztahu pro normálové napětí a vyjádřen:

Výpočet:

$$B_{Ed} = 0,92 \quad kNm^2 \quad \text{Bimoment.}$$

$$W_{max} = 5880 \quad mm \quad \text{Hlavní výsečová plocha.}$$

$\sigma_{x,w} = 112,74 \text{ MPa}$ Výsečové normálové napětí.

Posudek:

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{x,N,M} + \sigma_{x,w} = 61,98 + 112,74 = 174,73$$

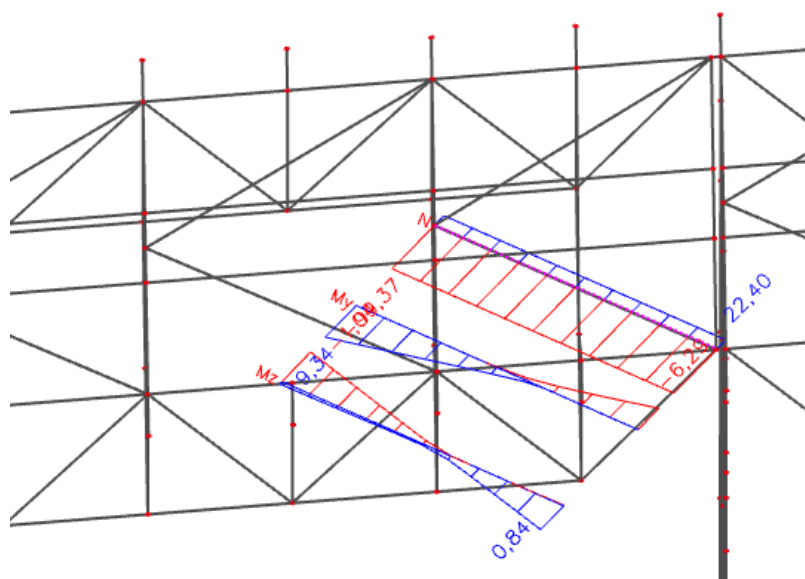
$$\sigma_{x,Ed} = 174,73 \text{ MPa} \leq 355,0 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

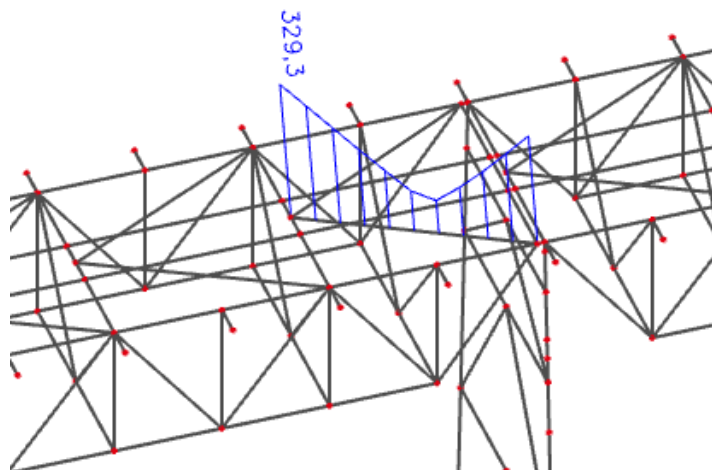
4.3.3. Zavětrování- O2

Rozhodující kombinace zatížení:

$N_{\max Ed} =$	-111,01	kN	Maximální návrhová osová síla- tlak.
$N_{\max Ed} =$	55,02	kN	Maximální návrhová osová síla- tah.
$M_{y,Ed} =$	12,83	kN/m	Návrhový ohybový moment k ose y-y.
$M_{zEd} =$	-1,54	kN/m	Návrhový ohybový moment k ose z-z.



Obrázek 44: Průběh vnitřních sil na prvku zavětrování horního pásu.



Obrázek 45: Průběh von Misesova napětí na prvku.

Podle výsledku namáhání, budou prvky zavětrování posouzeny na osově síly a kombinace ohybových momentů.

Průřezové charakteristiky CHS88.9/5, ocel S355:

$A = 1,72E-03 \text{ m}^2$ Průřezová plocha.

$i = 57 \text{ mm}$

$W_{pl,y} = W_{pl,z} = 5,88E-05 \text{ m}^3$ Plastický modul průřezu k ose y.

Vzpěrné délky:

Vzpěrné délky jsou určeny konzervativně, trubkový profil má tuhost ve všech směrech stejnou, proto je zvolen nejdelší rozměr.

$L_{cr} = 3593 \text{ mm}$ Vzpěrná délka.

Výpočet:

$\lambda = 63,035$

$\lambda_1 = 76,399$

$\overline{\lambda}_{LT} = 0,825$

$\alpha = 0,21$ Součinitel imperfekce pro křivku a.

$\phi = 0,906$

$\chi_y = 0,781 \leq 1$

Posudek tlak:

$N_{b,Rd} =$	476,914 kN	\geq	$N_{maxEd} =$	111,01 kN
<u>VYHOVUJE</u>				
23,28%				

Posudek tah:

$$N_{pl,Rd} = 610,6 \text{ kN} \geq N_{maxEd} = 55,02 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

využití: 9,01%

Posudek na ohyb a tah:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y =$$

$$N_{Rk} = 610,6 \text{ kN} \quad \text{Charakteristická hodnota únosnosti v tahu.}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y =$$

$$M_{y,Rk} = 20,89 \text{ kNm} \quad \text{Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose y-y.}$$

$$M_{z,Rk} = W_{z,pl} \cdot f_y =$$

$$M_{z,Rk} = 20,89 \text{ kNm} \quad \text{Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose z-z.}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} = 0,51 + 0,31 + 0,04 = 0,762$$

$$= 0,23 + 0,61 + 0,07 = 0,921 \leq 1$$

VYHOVUJE

4.3.4. Podélníky vnitřní- O3

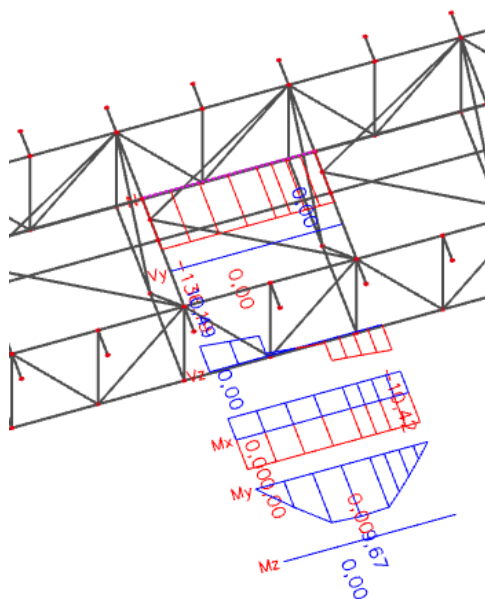
1. Rozhodující kombinace zatížení:

$$N_{maxEd} = -115,35 \text{ kN} \quad \text{Maximální návrhová osová síla- tlak.}$$

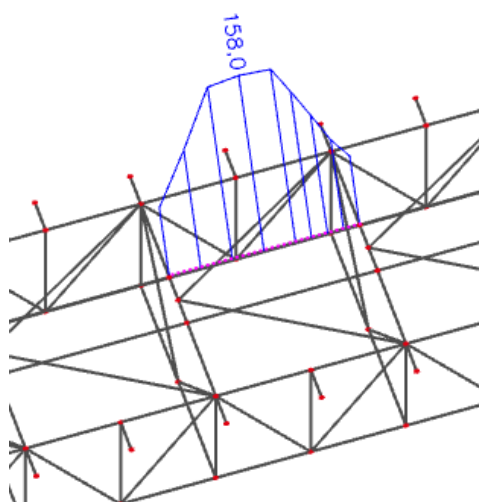
$$M_{y,Ed} = 0 \text{ kN/m} \quad \text{Návrhový ohybový moment k ose y-y.}$$

$$M_{z,Ed} = 0 \text{ kN/m} \quad \text{Návrhový ohybový moment k ose z-z.}$$

$$V_{z,Ed} = -10,76 \text{ kN} \quad \text{Návrhová posouvající síla.}$$



Obrázek 46: Vnitřní síly na vnitřním podélníku.



Obrázek 47: Průběh von Misesova napětí na vnitřním podélníku.

Podle výsledku namáhání, budou podélníky posouzeny na vzpěr, kombinaci tlaku a dvouosého ohybu a namáhání smykem.

Průřezové charakteristiky HEB100, ocel S355:

$A=$	2,6-03	m^2	Průřezová plocha.
$W_{pl,y}=$	1,04E-04	m^3	Plastický modul průřezu k ose y.
$W_{pl,z}=$	5,14E-05	m^3	Plastický modul průřezu k ose z.
$i_y=$	42	mm	Poloměr setrvačnosti k ose y-y.
$i_z=$	25	mm	Poloměr setrvačnosti k ose z-z.

$I_w =$	3,38E-09	m^6	Výsečový moment setrvačnosti.
$I_T =$	9,25E-08	m^4	Moment tuhosti v prostém kroucení.
$I_z =$	1,67E-06	m^4	Moment setrvačnosti k ose z.

Vzpěrné délky:

Vzpěrné délky jsou určeny konzervativně.

$L_{cr,y} =$	3015	mm	Vzpěrná délka v rovině příhrady
$L_{cr,z} =$	3015	mm	Vzpěrná délka z roviny příhrady
$L_{LT} =$	3015	mm	Klopící délka

Výpočet:

Vzpěr y-y:

$\lambda_y =$	71,786		
$\lambda_1 =$	76,399		
$\overline{\lambda}_y =$	0,94		
$\alpha =$	0,34		Součinitel imperfekce pro křivku b.
$\phi =$	1,067		
$\chi_y =$	0,636	\leq	1

Vzpěr z-z:

Vzpěr ve směru měkké osy.

$\lambda_z =$	120,6		
$\lambda_1 =$	76,399		
$\overline{\lambda}_z =$	1,579		
$\alpha =$	0,49		Součinitel imperfekce pro křivku c.
$\phi =$	2,084		
$\chi_z =$	0,29	\leq	1

Posudek na tlak:

$N_{b,Rd} =$	268,432 kN	\geq	$N_{maxEd} =$	111,01
<u>VYHOVUJE</u>				
		využití:	41,53%	

Namáhání smykem:

$$A_v = h_w \cdot t_w = 56 \cdot 10 = 5,60E-04 \quad m^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}}$$

$V_{pl,Rd} =$	114,78	kN	\geq	$2 \cdot V_{maxEd} =$	22	kN
<hr/>						
			<u>VYHOVUJE</u>			
využití:			18,75%			

2. Rozhodující kombinace zatížení:

$N_{Ed} =$	-108,66	kN	Návrhová osová síla- tlak.
$M_{max,y,Ed} =$	9,27	kN/m	Maximální návrhový ohybový moment k ose y-y.
$M_{z,Ed} =$	0	kN/m	Návrhový ohybový moment k ose z-z.

Klopení:

$k_z=$	1		Uloženo na obou koncích kloubově (v ohybu).
$k_w=$	1		Uloženo na obou koncích kloubově (v kroucení).
$k_{wt}=$	0,32		Bezrozměrný parametr kroucení.
$c_1=$	1,9		Konstantní průběh ohybových momentů ($k_z= 1$)
$c_2=$	-		Předpokládá se zatížení ve středu smyku ($\zeta_g= 0$).
$\mu_{cr}=$	1,94		Bezrozměrný kritický moment.
$M_{cr}=$	1,04E+8	<i>Nmm</i>	Pružný kritický moment.
$\overline{\lambda}_{LT}=$	0,597		Uloženo na obou koncích kloubově (v kroucení).
$\alpha_{LT}=$	0,21		Součinitel imperfekce při klopení (křivka a)
$\phi_{LT}=$	0,72		
$\chi_{LT}=$	0,891		Součinitel klopení.

Posudek na ohyb a osový tlak prutu:

$N_{Rk} =$	$A \cdot f_y =$		
$N_{Rk} =$	924,42	kN	Charakteristická hodnota únosnosti v tahu.
$M_{y,Rk} =$	$W_{y,pl} \cdot f_y =$		
$M_{y,Rk} =$	36,99	kNm	Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose y-y.
$M_{z,Rk} =$	$W_{z,pl} \cdot f_y =$		
$M_{z,Rk} =$	18,254	kNm	Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose z-z.
$k_{zy} =$	0,653		
$k_{zz} =$	-		

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} = 0,405 + 0,18 = 0,588$$

$$0,588 \leq 1$$

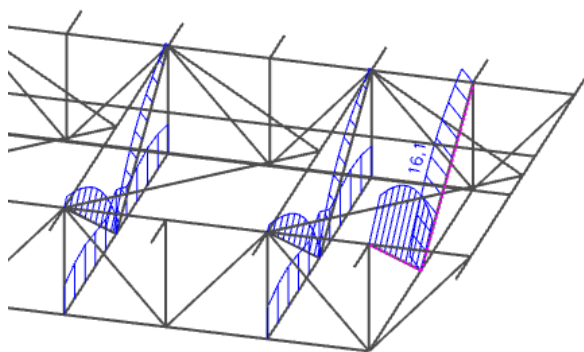
VYHOVUJE

4.3.5. Příčné ztužení- O4

Rozhodující kombinace zatížení:

$N_{\max Ed} = -3,9 \quad kN$ Maximální návrhová osová síla- tlak.

$N_{\max Ed} = 4,45 \quad kN$ Maximální návrhová osová síla- tah.



Obrázek 48: Průběh von Misesova napětí na prvcích příčného ztužení.

Průřezové charakteristiky CHS60.3/4, ocel S355:

$A = 1,32E-03 \quad m^2$ Průřezová plocha.

$i = 30 \quad mm$

Vzhledem k hodnotám a průběhu vnitřních sil postačí provést posudek v napět'ové formě bez potřeby zohlednění ztráty stability prutu vzpěrem či klopením.

$\sigma_{\max, mises} = 16,1 \quad MPa \leq f_y/\gamma_{M0} = 355 \quad MPa$

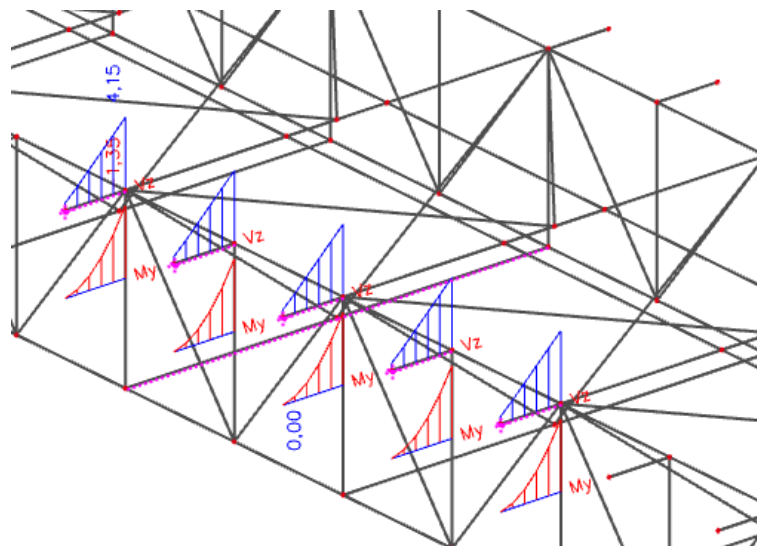
VYHOVUJE

4.3.6. Konzoly- O5

Rozhodující kombinace zatížení:

$V_{\max Ed} = -4,14 \quad kN$ Maximální návrhová osová síla- tlak.

$M_{y, \max Ed} = -1,37 \quad kN$ Maximální návrhová osová síla- tah.



Obrázek 49: Průběh vnitřních sil na konzole.

Průřezové charakteristiky HEB100, ocel S355:

$A=$	2,6-03	m^2	Průřezová plocha.
$W_{pl,y}=$	1,04E-04	m^3	Plastický modul průřezu k ose y.
$W_{pl,z}=$	5,14E-05	m^3	Plastický modul průřezu k ose z.
$i_y=$	42	mm	Poloměr setrvačnosti k ose y-y.
$i_z=$	25	mm	Poloměr setrvačnosti k ose z-z.
$I_w=$	3,38E-09	m^6	Výsečový moment setrvačnosti.
$I_T=$	9,25E-08	m^4	Moment tuhosti v prostém kroucení.
$I_z=$	1,67E-06	m^4	

S ohledem na průběhy vnitřních sil bude konzola posouzena na namáhání smykem a ohybem s klopením.

Vzpěrné délky:

Vzpěrné délky jsou určeny konzervativně.

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 600 \quad mm \quad \text{Vzpěrná délka.}$$

Namáhání smykem:

$$A_v = h_w \cdot t_w = 56 \cdot 10 = 5,60E-04 \quad m^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}}$$

$V_{pl,Rd} =$	114,78 kN	\geq	$2 \cdot V_{maxEd} =$	8,3 kN
<u>VYHOVUJE</u>				

Klopení:

$$k_z = 2 \quad \text{Vetknutý jeden konec.}$$

$$k_w = 2 \quad \text{Vetknutý jeden konec.}$$

$k_{wt} =$	0,805		Bezrozměrný parametr kroucení.
$c_1 =$	1,9		Konstantní průběh ohybových momentů ($k_z = 1$)
$c_2 =$	-		Předpokládá se zatížení ve středu smyku ($\zeta_g = 0$).
$\mu_{cr} =$	1,45		Bezrozměrný kritický moment.
$M_{cr} =$	4,17E+8	Nmm	Pružný kritický moment.
$\overline{\lambda}_{LT} =$	0,28		Uloženo na obou koncích kloubově (v kroucení).
$\alpha_{LT} =$	0,21		Součinitel imperfekce při klopení (křivka a)
$\phi_{LT} =$	0,548		
$\chi_{LT} =$	0,982		Součinitel klopení.
Posouzení ohybu se zohledněním klopení:			

$$M_{pl,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,982 \cdot \frac{1,04 \cdot 10^5 \cdot 355}{1}$$

$M_{pl,Rd} =$	36,33	kN	\geq	$M_{maxEd} =$	1,37	kN
<u>VYHOVUJE</u>						

4.4. Posudek podpěr- MSÚ

Konstrukce mostu je podepřena pěti sloupy, z nichž čtyři působí jako kyvné stojky a jeden je pevný bod.

Sloupy jsou navrženy jako rovinné příhradové konstrukce o proměnné šířce.

V statickém posudku (Příloha 2) je podrobný posudek všech sloupů a jejich výplňových prutů. V hlavní části práce je uveden podrobný výpočet pro 1. sloup (kyvná stojka) a 3. sloup (pevný bod). Shrnutí výsledků posudků je vypsáno v Tabulce 9, kde jsou výsledky ručního posudku srovnány s posudkem z programu Scia Engineer.

• 1. Sloup

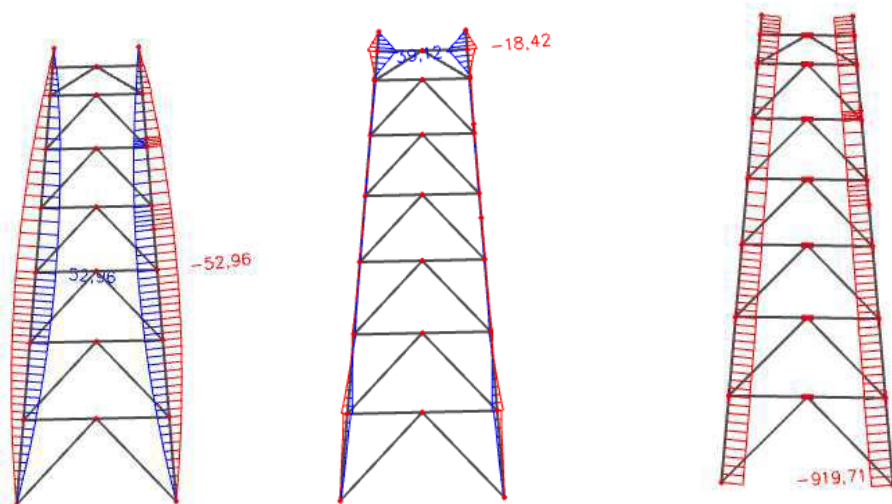
Rozhodující kombinace zatížení:

$N_{maxEd} =$	-919,7	kN	Maximální návrhová osová síla.
$M_{maxy,Ed} =$	52,96	kN/m	Maximální návrhový ohybový moment k ose y-y.
$M_{maxz,Ed} =$	18,42	kN/m	Maximální návrhový ohybový moment k ose z-z.

M_y

M_z

N



Obrázek 50: Maximální kombinace vnitřních sil na 1. sloupu (M_y , M_z , N)

Podle výsledku namáhání je hlavní pás posouzen na vzpěr, kombinaci tlaku a dvouosého ohybu.

Průřezové charakteristiky HEB360, ocel S355:

$A=$	1,81E-02	m^2	Průřezová plocha.
$W_{pl,y}=$	2,68E-03	m^3	Plastický modul průřezu k ose y.
$W_{pl,z}=$	1,03E-03	m^3	Plastický modul průřezu k ose z.
$i_y=$	155	mm	Poloměr setrvačnosti k ose y-y.
$i_z=$	75	mm	Poloměr setrvačnosti k ose z-z.
$I_w=$	2,88E-06	m^6	Výsečový moment setrvačnosti.
$I_T=$	2,93E-06	m^4	Moment tuhosti v prostém kroucení.
$I_z=$	1,01E-05	m^4	Moment setrvačnosti k ose z.

Vzpěrné délky:

Vzpěrné délky jsou určeny konzervativně. V rovině příhrady je pás ztužen svislicemi a z roviny je ztužením.

$L_{cr,y}=$	21463	mm	Vzpěrná délka v rovině příhrady
$L_{cr,z}=$	3982	mm	Vzpěrná délka z roviny příhrady
$L_{LT}=$	3982	mm	Klopící délka

Vzpěr y-y:

$\lambda_y =$	138,47
$\lambda_1 =$	76,399
$\overline{\lambda}_y =$	1,812

$\alpha=$	0,34		Součinitel imperfekce pro křivku <i>b</i> .
$\phi=$	2,417		
$\chi_y=$	0,25	\leq	1

Vzpěr z-z:

Vzpěr ve směru měkké osy.

$\lambda_z=$	59,09		
$\lambda_1=$	76,399		
$\overline{\lambda_z}=$	0,695		
$\alpha=$	0,49		Součinitel imperfekce pro křivku <i>c</i> .
$\phi=$	0,863		
$\chi_z=$	0,728	\leq	1

Posudek na vzpěr:

Rozhoduje vzpěr k ose y-y.

$N_{b,Rd}=$	1596,774 kN	\geq	$N_{maxEd}=$	919,7 kN
<u>VYHOVUJE</u>				
57,6%				

Klopení:

$k_z=$	1		Uloženo na obou koncích kloubově (v ohybu).
$k_w=$	1		Uloženo na obou koncích kloubově (v kroucení).
$k_{wt}=$	1,261		Bezrozměrný parametr kroucení.
$c_1=$	1,08		Konstantní průběh ohybových momentů ($k_z=1$)
$c_2=$	-		Předpokládá se zatížení ve středu smyku ($\zeta_g=0$).
$\mu_{cr}=$	1,74		Bezrozměrný kritický moment.
$M_{cr}=$	3,08E+9	Nmm	Pružný kritický moment.
$\overline{\lambda_{LT}}=$	0,55		Uloženo na obou koncích kloubově (v kroucení).
$\alpha_{LT}=$	0,21		Součinitel imperfekce při klopení (křivka a)
$\phi_{LT}=$	0,69		
$\chi_{LT}=$	0,91		Součinitel klopení.

Posudek na ohyb a osový tlak prutu:

Výpočet:

$N_{Rk} =$	$A \cdot f_y =$		
$N_{Rk} =$	6411,3	kN	Charakteristická hodnota únosnosti v tahu.
$M_{y,Rk} =$	$W_{y,pl} \cdot f_y =$		
$M_{y,Rk} =$	952,47	kNm	Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose y-y.
$M_{z,Rk} =$	$W_{z,pl} \cdot f_y =$		
$M_{z,Rk} =$	366,36	kNm	Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose z-z.
$k_{yz} =$	0,577		
$k_{yy} =$	1,157		

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 0,62 + 0,2 + 0,01 = 0,726$$

$$= 0,57 + 0,07 + 0,003 = \mathbf{0,676} \leq 1$$

VYHOVUJE

Odpovídající napětí:

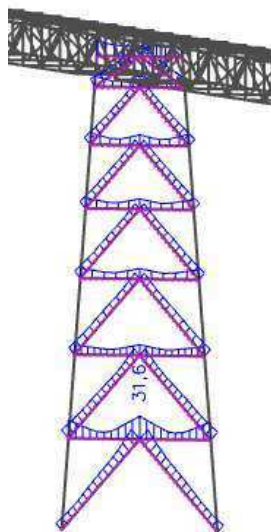
$$\sigma_{x,N,M} = 0,676 \cdot 355 = 239,98 \text{ MPa}$$

- Výplňové pruty 1. sloupu**

Rozhodující kombinace zatížení:

$$N_{\max Ed} = -55,35 \text{ kN} \quad \text{Maximální návrhová osová síla.}$$

$$M_{y,Ed} = -9,56 \text{ kN/m} \quad \text{Maximální návrhový ohybový moment k ose y-y.}$$



Obrázek 51: Průběh von Misesova napětí na prvku ztužení příhrady.

Průřezové charakteristiky HEB160, ocel S355:

$A = 5,43 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ Průřezová plocha.

Vzhledem k hodnotám a průběhu vnitřních sil postačí provést posudek v napěťové formě bez potřeby zohlednění ztráty stability prutu vzpěrem či klopením.

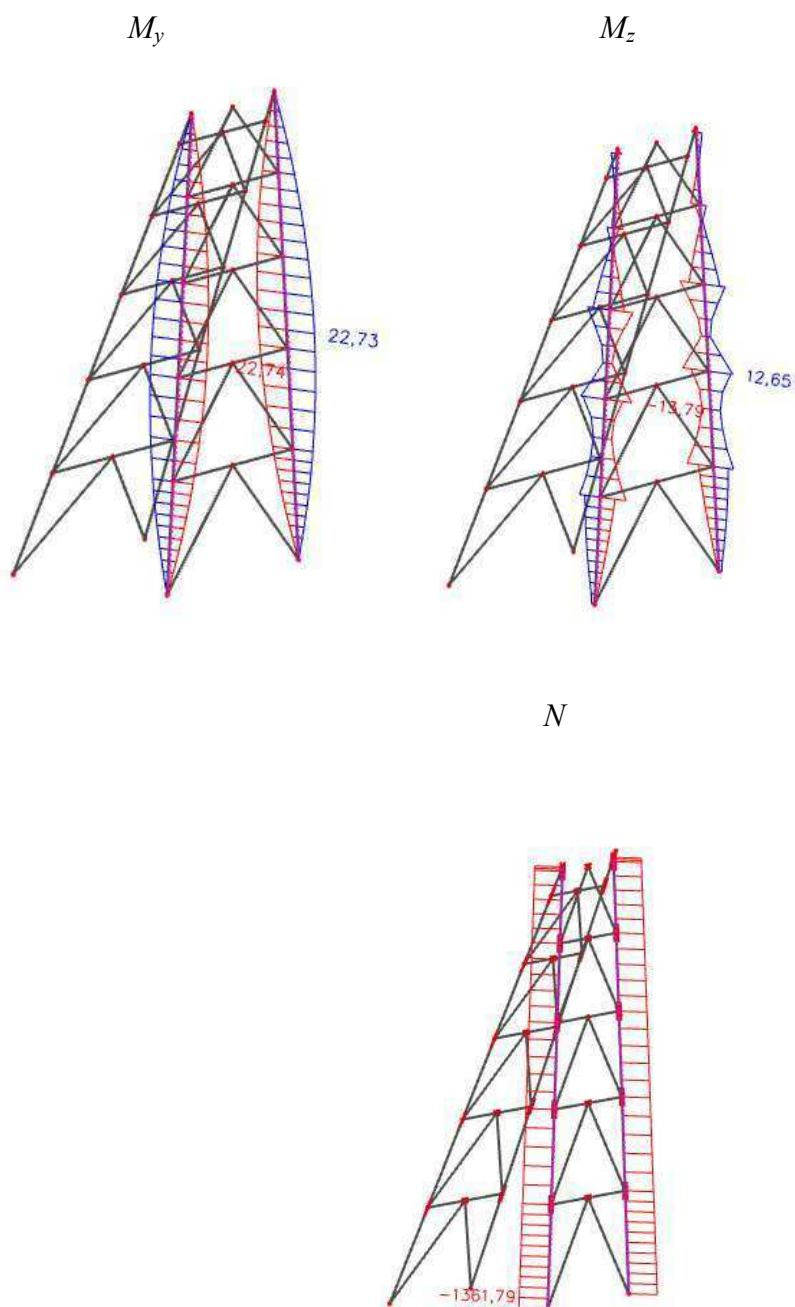
$\sigma_{\max, \text{mises}} = 31,6 \text{ MPa} \leq f_y / \gamma_{M0} = 355 \text{ MPa}$

VYHOVUJE

- **3. Sloup**

1. Rozhodující kombinace zatížení:

$N_{\max Ed} =$	-1359,69	kN	Maximální návrhová osová síla.
$M_{y, Ed} =$	22,73	kN/m	Maximální návrhový ohybový moment k ose y-y.
$M_{z, Ed} =$	-13,79	kN/m	Maximální návrhový ohybový moment k ose z-z.



Obrázek 52: Maximální kombinace vnitřních sil na 3. Sloupu (nahore M_y , M_z , dole N)

Podle výsledku namáhání je hlavní pás posouzen na vzpěr, kombinaci tlaku a dvouosého ohybu.

Průřezové charakteristiky: viz. 1.Sloup- Profil HEB360

Vzpěrné délky:

Vzpěrné délky jsou určeny konzervativně. V rovině příhrady je pás ztužen svislicemi a z roviny je ztužením.

$L_{cr,y} =$	14201	mm	Vzpěrná délka v rovině příhrady
$L_{cr,z} =$	3350	mm	Vzpěrná délka z roviny příhrady
$L_{LT} =$	3350	mm	Klopící délka

Vzpěr y-y:

$\lambda_y =$	91,619		
$\lambda_1 =$	76,399		
$\overline{\lambda}_y =$	1,199		
$\alpha =$	0,34		Součinitel imperfekce pro křivku <i>b</i> .
$\phi =$	1,389		
$\chi_y =$	0,48	\leq	1

Vzpěr z-z:

Vzpěr ve směru měkké osy.

$\lambda_z =$	44,667		
$\lambda_1 =$	76,399		
$\overline{\lambda}_z =$	0,585		
$\alpha =$	0,49		Součinitel imperfekce pro křivku <i>c</i> .
$\phi =$	0,765		
$\chi_z =$	0,794	\leq	1

Posudek na vzpěr:

Rozhoduje vzpěr k ose y-y.

$$N_{b,Rd} = 3068,096 \text{ kN} \geq N_{maxEd} = 1359,7 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

44,32%

Klopení:

$k_z =$	1	Uloženo na obou koncích kloubově (v ohybu).
---------	---	---

$k_w =$	1		Uloženo na obou koncích kloubově (v kroucení).
$k_{wt} =$	1,499		Bezrozměrný parametr kroucení.
$c_1 =$	1,14		Konstantní průběh ohybových momentů ($k_z = 1$)
$c_2 =$	-		Předpokládá se zatížení ve středu smyku ($\zeta_g = 0$).
$\mu_{cr} =$	2,05		Bezrozměrný kritický moment.
$M_{cr} =$	4,33E+9	Nmm	Pružný kritický moment.
$\overline{\lambda}_{LT} =$	0,469		Uloženo na obou koncích kloubově (v kroucení).
$\alpha_{LT} =$	0,21		Součinitel imperfekce při klopení (křivka a)
$\phi_{LT} =$	0,638		
$\chi_{LT} =$	0,934		Součinitel klopení.

Posudek na ohyb a osový tlak prutu:

Výpočet:

$N_{Rk} =$	$A \cdot f_y =$		
$N_{Rk} =$	6411,3	kN	Charakteristická hodnota únosnosti v tahu.
$M_{y,Rk} =$	$W_{y,pl} \cdot f_y =$		
$M_{y,Rk} =$	952,47	kNm	Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose y-y.
$M_{z,Rk} =$	$W_{z,pl} \cdot f_y =$		
$M_{z,Rk} =$	366,36	kNm	Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose z-z.
$k_{yz} =$	0,677		
$k_{yy} =$	1,356		

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 0,381 + 0,07 + 0,029 = 0,482$$

$$= 0,441 + 0,03 + 0,025 = \mathbf{0,503} \leq 1$$

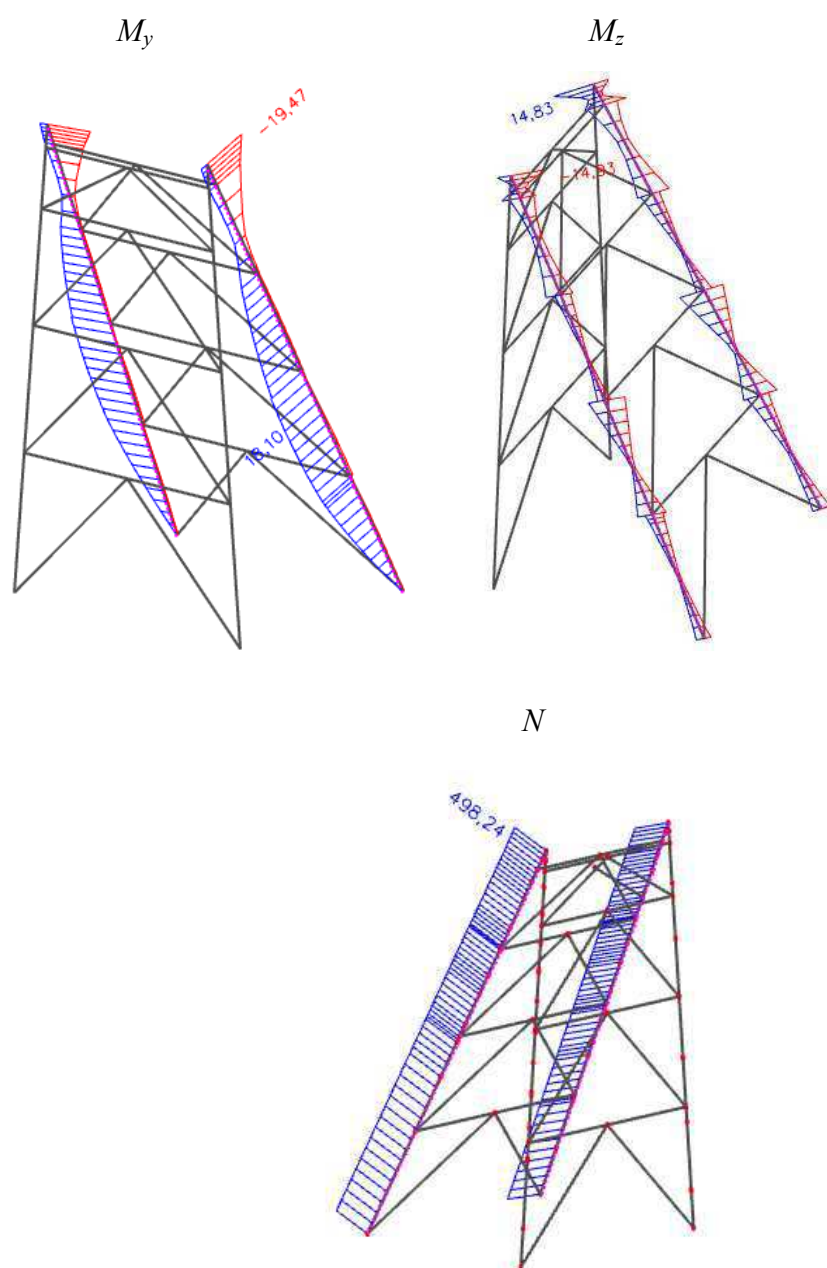
VYHOVUJE

2. Rozhodující kombinace zatížení:

$N_{maxEd} =$	506,9	kN	Maximální návrhová osová síla.
$M_{y,Ed} =$	34,11	kN/m	Maximální návrhový ohybový moment k ose y-y.
$M_{z,Ed} =$	19,23	kN/m	Maximální návrhový ohybový moment k ose z-z.

Průřezové charakteristiky HEB300, ocel S355:

$A=$	$1,49\text{E-}02 \text{ m}^2$
$W_{pl,y}=$	$1,87\text{E-}03 \text{ m}^3$
$W_{pl,z}=$	$8,70\text{E-}04 \text{ m}^3$
$i_y=$	130 mm
$i_z=$	76 mm
$I_w=$	$1,69\text{E-}06 \text{ m}^6$
$I_T=$	$1,85\text{E-}06 \text{ m}^4$
$I_z=$	$8,56\text{E-}05 \text{ m}^4$



Obrázek 53: Maximální kombinace vnitřních sil na 3. Sloupu (nahore M_y , M_z , dole N)

Posudek na tah:

Rozhoduje vzpěr k ose y-y.

$$\frac{N_{b,Rd} = 5293,05 \text{ kN}}{N_{maxEd} = 506,9 \text{ kN}} \geq$$

VYHOVUJE
9,58%

Klopení:

$k_z =$	1	Uloženo na obou koncích kloubově (v ohybu).
$k_w =$	1	Uloženo na obou koncích kloubově (v kroucení).
$k_{wt} =$	1,563	Bezrozměrný parametr kroucení.
$c_1 =$	1,9	Konstantní průběh ohybových momentů ($k_z = 1$)
$c_2 =$	-	Předpokládá se zatížení ve středu smyku ($\zeta_g = 0$).
$\mu_{cr} =$	3,58	Bezrozměrný kritický moment.
$M_{cr} =$	5,98E+9	Nmm Pružný kritický moment.
$\overline{\lambda}_{LT} =$	0,333	$> \overline{\lambda}_{LT0} = 0,4$
$\alpha_{LT} =$	0,21	Součinitel imperfekce při klopení (křivka a)
$\phi_{LT} =$	0,57	
$\chi_{LT} =$	0,97	Součinitel klopení.

Posudek na ohyb a osový tah:**Výpočet:**

$$\begin{aligned}
 N_{Rk} &= A \cdot f_y = \\
 N_{Rk} &= 5293,05 \text{ kN} \quad \text{Charakteristická hodnota únosnosti v tahu.} \\
 M_{y,Rk} &= W_{y,pl} \cdot f_y = \\
 M_{y,Rk} &= 663,5 \text{ kNm} \quad \text{Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose y-y.} \\
 M_{z,Rk} &= W_{z,pl} \cdot f_y = \\
 M_{z,Rk} &= 308,89 \text{ kNm} \quad \text{Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose z-z.} \\
 k_{yz} &= 0,663 \\
 k_{yy} &= 1,228 \\
 \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} &= 0,09 + 0,053 + 0,12 = 0,211 \\
 &= 0,09+0,053+0,12= \quad \quad \quad \mathbf{0,211} \leq 1
 \end{aligned}$$

VYHOVUJE

- **Srovnání posudku podpěr**

Tabulka 9: Srovnání výsledků posudku dle normy a z programu Scia Engineer.

Posudek podpěr mostu								
Sloup	Profil	rovina	$L_{cr}[mm]$	RUČNĚ (NORMA)		SCIA		rozdíl
				Vzpěr[%]	Ohyb a osový tlak	Vzpěr[%]	Ohyb a osový tlak	
1	HEB360	y-y	21463	57,6	68%	58,0	63%	5%
		z-z	3982	-		-		
2	HEB360	y-y	17940	40,7	49,8%	41,0	45,0%	4,8%
		z-z	4645	-		-		
3	HEB360	y-y	14201	44,32	50,3%	44,0	52,0%	1,8%
		z-z	3350	-		-		
4	HEB260	y-y	10520	42,44	49,8%	42,0	43,0%	5,8%
		z-z	876	-		-		
5	HEB260	y-y	6873	-	27,5%	-	31,0%	4,5%
		z-z	2699	20,1		22,0		

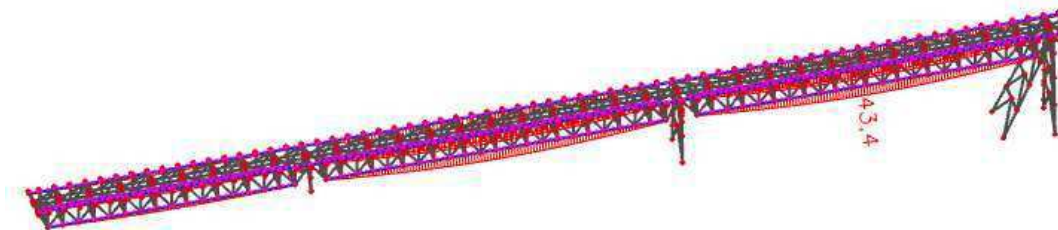
Všechny sloupy byly posouzeny dle normy [7] a výsledky byly porovnány s výsledky z programu Scia Engineer. Rozdíly v posudcích jsou způsobeny konzervativním posouzením dle normy na maximální vnitřní síly na prutu, kdežto program uvažuje nejhorší kombinaci v řezu prutu. Program také využívá jiného postupu při posuzování kombinace osových sil a ohybových momentů.

Všechny posudky ručně, dle normy, jsou ve shodě s automatickým posudkem programu.

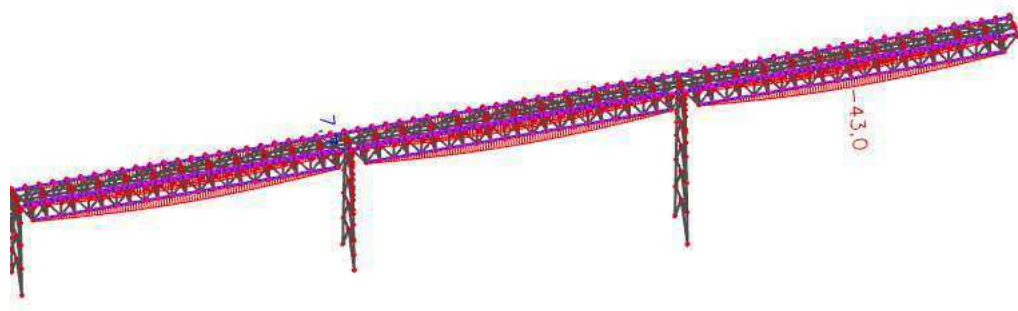
Výplňové pruty všech sloupů jsou posouzeny ve statickém posudku v Příloze 2. Posudky jsou provedeny v napětové formě, neboť výsledky vnitřních sil jsou velmi malé. Přesto je provedeno posouzení výplňových prutů 3. sloupu na vzpěr, kombinaci ohybu a osového namáhání a smyk.

4.5. Posudek konstrukce mostu- MSP

- Svislé průhyby a nadvýšení



Obrázek 54: Maximální svislý průhyb od zatížení- 1. dilatační celek.



Obrázek 55: Maximální svislý průhyb od zatížení- 2. dilatační celek.

Svislý průhyb od všech zatížení:

$$\delta_{max,z} = 43,4 \text{ mm} \leq \delta_{max,lim} = \frac{L}{250} = \frac{35000}{250} = 140,0 \text{ mm}$$

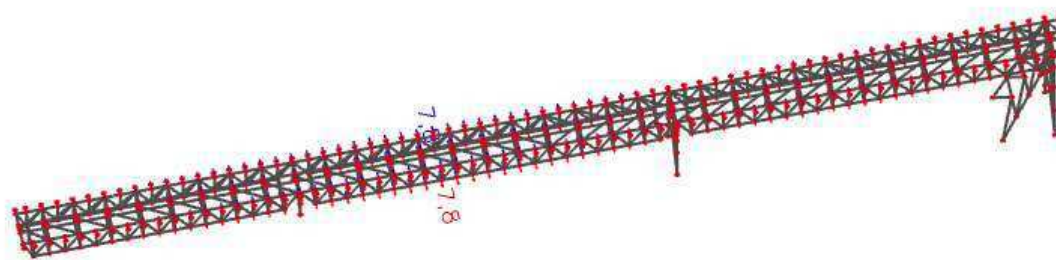
$\delta_{max,lim} =$	140 mm	\geq	$\delta_{max,z} =$	43,4 mm
<u>VYHOVUJE</u>				

Svislý průhyb od stálých zatížení:

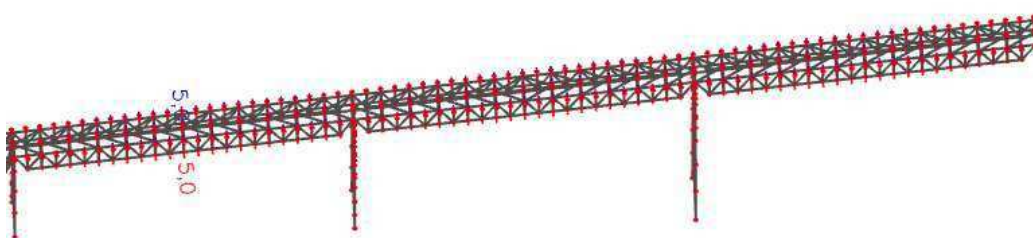
$$\delta_{g,max} = 34 \text{ mm}$$

Doporučené nadvýšení mostu: $\delta_{g,max} = 35 \text{ mm}$

- **Vodorovný průhyb**



Obrázek 56: Maximální vodorovný posun- 1. dilatační celek



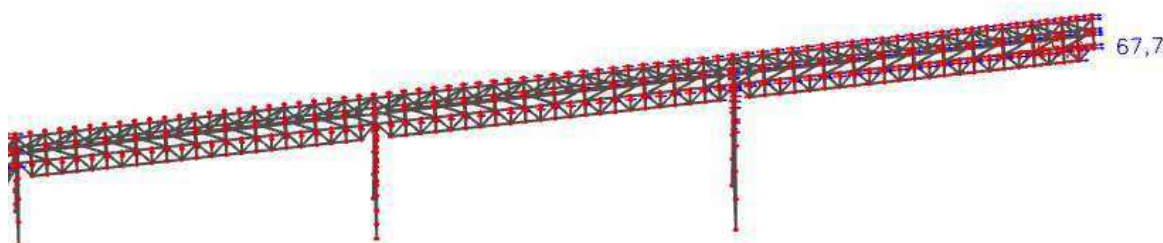
Obrázek 57: Maximální vodorovný posun- 2. dilatační celek

Vodorovný průhyb od všech zatížení:

$$\delta_{max,y} = 7,8 \text{ mm} \leq \delta_{max,lim} = \frac{L}{250} = \frac{35000}{250} = 140,0 \text{ mm}$$

$\delta_{max,lim} =$	140 mm	\geq	$\delta_{max,y} =$	7,8 mm
<u>VYHOVUJE</u>				

- **Podélný posun**



Obrázek 58: Maximální podélný posun konstrukce

Podélný posun od všech zatížení:

$$\delta_{g,max,y} = 67,7 \text{ mm}$$

$$\delta_{g,max,y} = -65,0 \text{ mm}$$

Podélné posuny musí umožňovat posuvné ložiska mostu v pevném bodě a ve vrcholu kotvení konstrukce na budovu.

4.6. Posudek podpěr- MSP

Podpěry jsou posouzeny na 2.MS dle normy [7].

Sloup	Profil	Výška[mm]	Naklonění [mm]	Kritérium L/250	Posudek
1	HEB360	21 463	45,5	85,85	VYHOVUJE
2	HEB360	17 939	24,3	71,76	VYHOVUJE
3	HEB360	14 201	6,1	56,81	VYHOVUJE
4	HEB260	10 520	36,5	42,08	VYHOVUJE
5	HEB260	6 872	15,3	27,49	VYHOVUJE

Navržené podpěry vyhoví z hlediska příčných deformací.

4.7. Posudek vybraných detailů

I. Montážní spoje příhradového pole

Síly do spoje:

Horní pás:

$$N_{max,Ed} = 1030 \text{ kN} \quad \text{TLAK}$$

$$V_{y,max,Ed} = 3,22 \text{ kN}$$

$$V_{z,max,Ed} = 13,8 \text{ kN}$$

$$M_{y,max,Ed} = 28,62 \text{ kNm}$$

$$M_{z,max,Ed} = 3,25 \text{ kNm}$$

Dolní pás:

$$N_{max,Ed} = 1405 \text{ kN} \quad \text{TAH}$$

$$V_{y,max,Ed} = 1,36 \text{ kN}$$

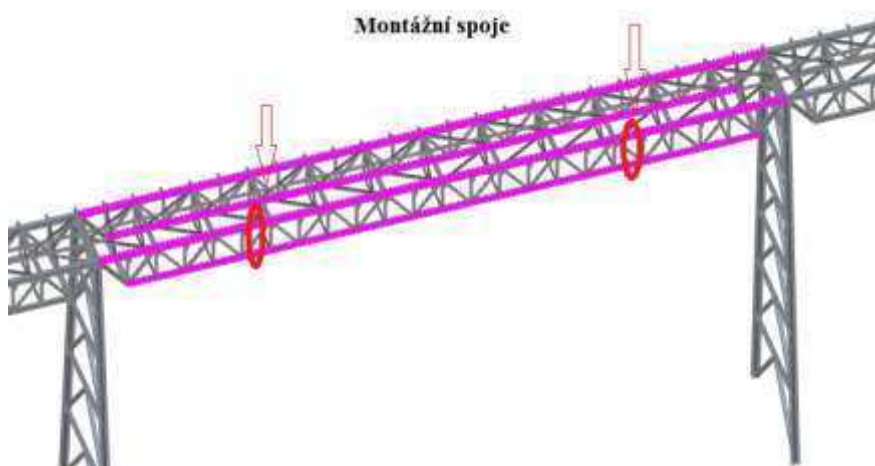
$$V_{z,max,Ed} = 14,45 \text{ kN}$$

$$M_{y,max,Ed} = 15,13 \text{ kNm}$$

$$M_{z,max,Ed} = 0,89 \text{ kNm}$$

Diagonála:

$$N_{max,Ed} = 250,6 \text{ kN} \quad \text{TLAK}$$



Obrázek 59: Rozmístění montážních spojů příhradové konstrukce.

Horní pás:

Návrh spojovacích prostředků:

Pásnice:

P15-260+2xP15-90

Příložky jedné pásnice

4xM16 (10.9)

Šrouby pásnice

Plocha příložek s oslabením:

$$A_{net1} = t \cdot [(b_1 - 2 \cdot d) + 2 \cdot (b_2 - d)] = 15 \cdot [(260 - 2 \cdot 18) + 2 \cdot (90 - 18)] = 5520 \text{ mm}^2$$

Stojina:

2xP15-160

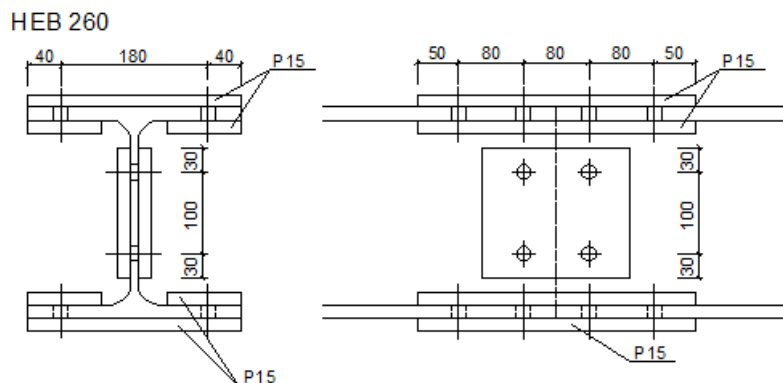
Příložky stojiny

4xM16 (10.9)

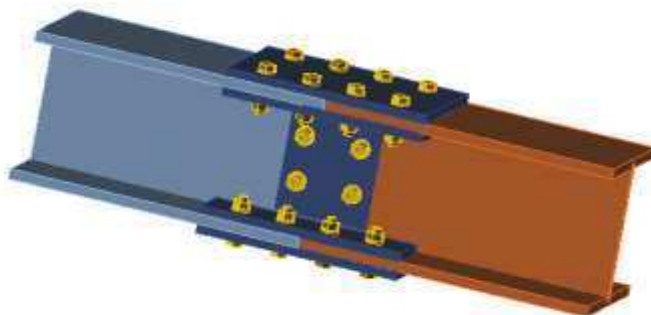
Šrouby pásnice

Plocha příložek s oslabením:

$$A_{net2} = 2 \cdot t \cdot [(b_3 - 2 \cdot d)] = 2 \cdot 15 \cdot [(160 - 2 \cdot 18)] = 3720 \text{ mm}^2$$



Obrázek 60: Návrh montážního spoje horního pásu.



Obrázek 61: Montážní spoj horního pásu v axonometrii- výstup z programu Idea Statica.

Výpočet stojina:

Stojina je namáhána- poměrnou částí tlakových sil N_{Ed} ,
všechny smykové síly $V_{z,Ed}$.

Poměrná část tlakových sil:

$$N_{w,Ed,N} = \frac{A_{s2} \cdot n_2}{2 \cdot A_{s1} \cdot n_1 + A_{s2} \cdot n_2} \cdot N_{Ed} = \frac{157 \cdot 4}{2 \cdot 157 \cdot 4 + 157 \cdot 2} \cdot 1030 = 206 \text{ kN}$$

Únosnost oslabených příložek:

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{3720 \cdot 510}{1,25} = 1365984 \text{ N} = 1365,98 \text{ kN}$$

Posudek:

$$N_{u,Rd} = 1365,984 \geq N_{w,Ed,N} = 206,00$$

VYHOVUJE

Střihová síla na šrouby ve směru x:

$$F_{v,Ed,x} = N_{w,Ed} = 206,00 \text{ kN}$$

Střihová síla na šrouby ve směru z:

$$F_{v,Ed,y} = V_{z,Ed} = 13,80 \text{ kN}$$

Výslednice střihové síly:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{v,Ed,x}^2 + F_{v,Ed,y}^2} = \sqrt{206^2 + 13,8^2} = 206,46 \text{ kN}$$

Střihová síla na jeden šroub:

$$F_{v,Ed,l} = F_{v,Ed} / n_2 = 206,46 / 2$$

$$F_{v,Ed,l} = 103,23 \text{ kN}$$

Parametr:

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right. \\ \left. \frac{50}{54}; \frac{80}{54} - \frac{1}{4}; \frac{1000}{510}; 1 \right\} = 0,93$$

Parametr:

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7; \frac{1,4 \cdot p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right. \\ \left. \frac{2,8 \cdot 30}{18} - 1,7; \frac{1,4 \cdot 100}{18} - 1,7; 2,5 \right\} = 2,5$$

Únosnost ve střihu:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 157}{1,25} \cdot 10^{-3} = 125,6 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,93 \cdot 510 \cdot 16 \cdot 10}{1,25} \cdot 10^{-3} = 151,11 \text{ kN}$$

Posudek:

$$F_{v,Ed,l} \leq \min\{F_{b,Rd}; F_{v,Rd}\}$$

$$F_{v,Ed,l} = 103,23 \text{ kN} \leq F_{b,Rd}; F_{v,Rd} = 125,6 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Výpočet pásnice:

Pásnice je namáhána- poměrnou částí tlakových sil N_{Ed} ,
celý ohybový moment $M_{y,Ed}$,
polovina ohybového momentu $M_{z,Ed}$ (každá pásnice polovinu)
polovina smykových sil $V_{y,Ed}$ (každá pásnice polovinu).

Poměrná část tlakových sil:

$$N_{f,Ed,N} = \frac{A_{s2} \cdot n_2}{2 \cdot A_{s1} \cdot n_1 + A_{s2} \cdot n_2} \cdot N_{Ed} = \frac{157 \cdot 4}{2 \cdot 157 \cdot 4 + 157 \cdot 2} \cdot 1030 = 206 \text{ kN}$$

Osová síla od ohybového momentu M_y :

$$N_{f,Ed,My} = \frac{M_{y,Ed}}{h - t_f} = \frac{28,62 \cdot 10^3}{260 - 17,5} = 118,02 \text{ kN}$$

Osová síla celkem:

$$N_{f,Ed} = N_{f,Ed,N} + N_{f,Ed,My} = 206,0 + 118,02 =$$

$$N_{f,Ed} = 324,02 \text{ kN}$$

Únosnost oslabených příložek:

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{5520 \cdot 510}{1,25} = 2026940 \text{ N} = 2026,94 \text{ kN}$$

Posudek:

$$N_{u,Rd} = 2026,94 \geq N_{f,Ed,N} = 324,02$$

VYHOVUJE

Střihová síla na šrouby ve směru x:

$$F_{v,Ed,x} = N_{f,Ed} + M_{z,Ed}/c =$$

$$F_{v,Ed,x} = 340,27 \text{ kN}$$

Střihová síla na šrouby ve směru y:

$$F_{v,Ed,y} = V_{y,Ed} / 2 = 1,61 \text{ kN}$$

Výslednice střihové síly:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{v,Ed,x}^2 + F_{v,Ed,y}^2} = \sqrt{340,27^2 + 1,61^2} = 340,27 \text{ kN}$$

Střihová síla na jeden šroub:

$$F_{v,Ed,l} = F_{v,Ed} / n_2 = 371,19 / 4$$

$$F_{v,Ed,l} = 85,07 \quad kN$$

Parametr:

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right. \\ \left. \frac{50}{54}; \frac{80}{54} - \frac{1}{4}; \frac{1000}{510}; 1 \right\} = 0,93$$

Parametr:

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7; \frac{1,4 \cdot p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right. \\ \left. \frac{2,8 \cdot 40}{18} - 1,7; \frac{1,4 \cdot 180}{18} - 1,7; 2,5 \right\} = 2,5$$

Únosnost ve střihu:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 157}{1,25} \cdot 10^{-3} = 125,6 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,93 \cdot 510 \cdot 16 \cdot 15}{1,25} \cdot 10^{-3} = 226,667 \text{ kN}$$

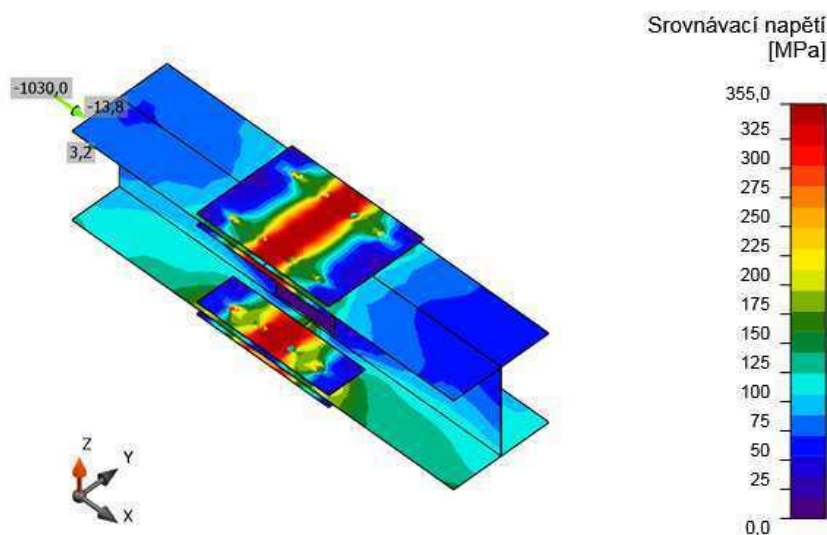
Posudek:

$$F_{v,Ed,l} \leq \min\{F_{b,Rd}; F_{v,Rd}\}$$

$$F_{v,Ed,l} = 85,07 \text{ kN} \leq F_{b,Rd}; F_{v,Rd} = 125,6 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Spoj byl posouzen také v softwaru Idea Statica, maximální namáhání šroubů bylo spočteno metodou MKP na 81,8%. Posudek dle normy stanovil maximální namáhání, a to šroubů ve stojině, na 82,2%.



Obrázek 62: Průběh srovnávacího napětí v montážním spoji horního pásu příhradové konstrukce.

Dolní pás:

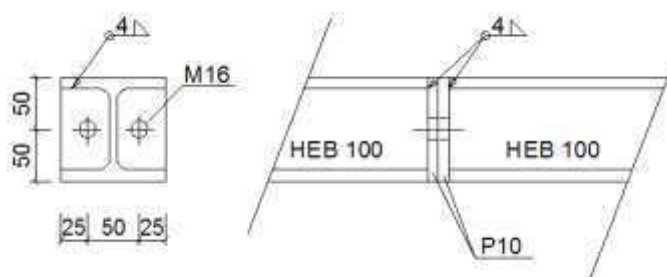
Navržen stejný systém spoje jako u horního pásu. Posudek je uveden ve statickém posudku v Příloze 2.

Diagonála:

Spoj je navržen přes dvě čelní desky v místě, kde je diagonála namáhána pouze na tlak.

Návrh spojovacích prostředků:

2xP10-100x100 Příložky navařené k profilu ve výrobě s předvrtanými otvory
2xM16 (10.9) Konstrukčně navrženy šrouby

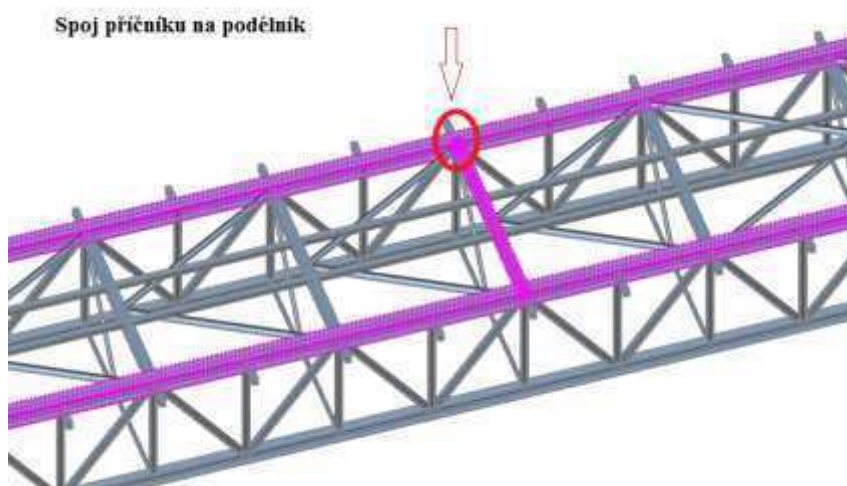


Obrázek 63: Návrh montážního spoje tlačené diagonály

Spoj přenáší tlakové síly **stykem**, není třeba jej posuzovat, určitě vyhoví.

II. Spoj příčnicku na podélník

- Podélník- HEB260
- Příčnick- HEB160



Obrázek 64: Styčnick příčnicku a podélníku ve 3D konstrukci mostu.

Síly do spoje:

$$V_{z,max,Ed} = 32,64 \text{ kN}$$

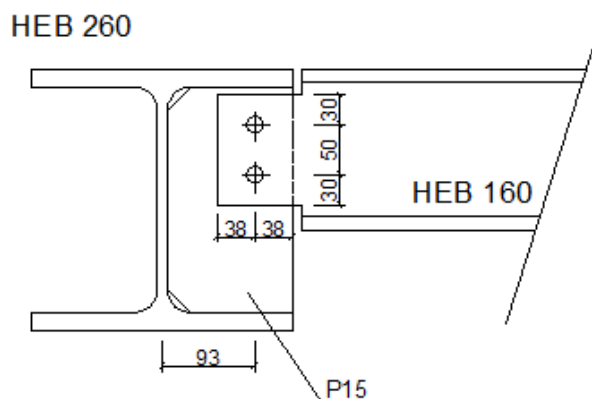
Návrh spojovacích prostředků:

P15-250x125

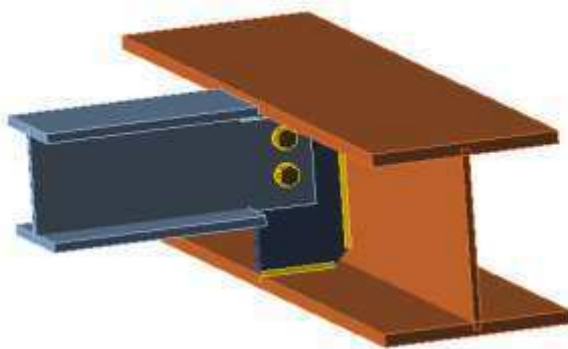
2xM16 (10.9)

Příložky

Šrouby



Obrázek 65: Návrh šroubového spoje příčnicku na podélník.



Obrázek 66: Návrh šroubového spoje příčnicku na podélník v axonometrii.

Stojina příčnicku:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 32,64 \cdot 10^3 \cdot 48 \cdot 10^{-6} =$$

$$M_{Ed} = 1,57 \text{ kNm}$$

Předpokládá se pružné rozdělení sil působících na krajní šrouby od momentu.

$$F_{h,Ed} = M_{Ed} / p = 1,57 \cdot 10^3 / 50 =$$

$$F_{h,Ed} = 31,33 \text{ kN}$$

Posouvající síla se rozdělí na šrouby na stěně nosníku rovnoměrně:

$$F_{v,Ed} = V_{Ed} / n = 32,64 / 2 =$$

$$F_{v,Ed} = 16,32 \text{ kN}$$

Výslednice sil na jeden šroub:

$$F_{Ed} = \sqrt{F_{h,Ed}^2 + F_{v,Ed}^2} = \sqrt{31,33^2 + 16,32^2} = 35,33 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost jednoho šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 157}{1,25} \cdot 10^{-3} = 62,8 \text{ kN}$$

Parametr:

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1; \frac{30}{54}; \frac{50}{54} - \frac{1}{4}; \frac{1000}{510}; 1 \right\} = 0,56$$

Parametr:

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7; \frac{1,4 \cdot p_2}{d_0} - 1,7; 2,5; \frac{2,8 \cdot 38}{18} - 1,7; 2,5 \right\} = 2,5$$

Únosnost v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,56 \cdot 510 \cdot 16 \cdot 8}{1,25} \cdot 10^{-3} = 72,53 \text{ kN}$$

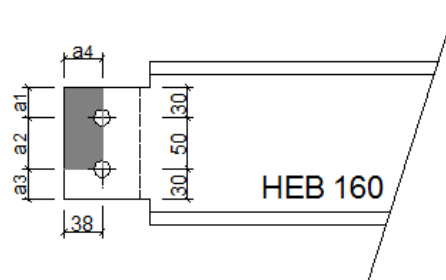
Posudek:

$$F_{v,Ed,l} \leq \min\{F_{b,Rd}; F_{v,Rd}\}$$

$$\frac{F_{v,Ed,l} = 35,33 \text{ kN} \leq F_{b,Rd}; F_{v,Rd} = 62,8 \text{ kN}}{\text{VYHOVUJE}}$$

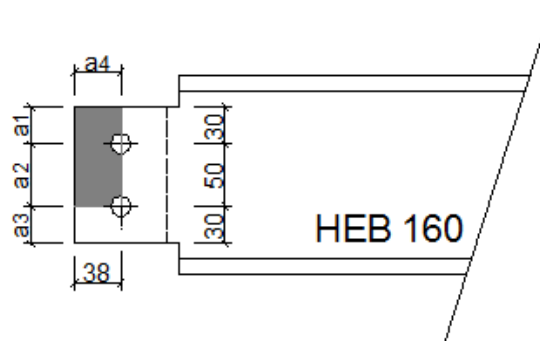
Vytržení skupiny šroubů:

$$\begin{aligned} t_w &= 8 \text{ mm} && \text{Tloušťka stojiny} \\ a_1 &= 30 \text{ mm} \\ a_2 &= 50 \text{ mm} \\ a_3 &= 30 \text{ mm} \\ a_4 &= 38 \text{ mm} \end{aligned}$$



Obrázek 67: Oblast posudku vytržení skupiny šroubů.

Oslabená plocha přenášející tahovou sílu:



$$A_{nt} = t_{w,b} \cdot \left(a_4 - \frac{d_0}{2}\right) = 8 \cdot \left(38 - \frac{18}{2}\right) = 232 \text{ mm}^2$$

Oslabená plocha přenášející smykovou sílu:

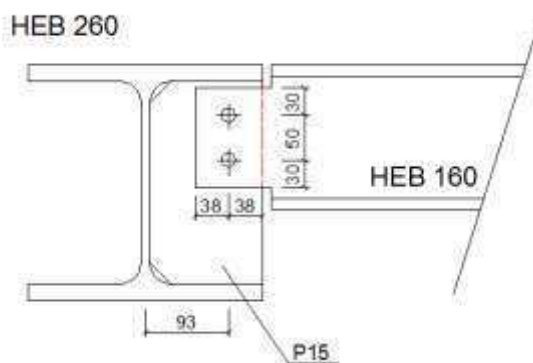
$$A_{nv} = t_{w,b} \cdot (a_1 + a_2 - 1,5 \cdot d_0) = 8 \cdot (30 + 50 - 1,5 \cdot 18) = 424 \text{ mm}^2$$

Posudek:

$$V_{eff,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_{yb} \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}} = 134,23 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed} = 32,64 \text{ kN} \leq V_{eff,Rd} = 134,23 \text{ kN}}{\text{VYHOVUJE}}$$

Namáhání oslabeného průřezu smykem:



Obrázek 68: Oslabený průřez příčníku (červeně)

$$A_v = h_w \cdot t_w = 110 \cdot 8 = 8,80 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

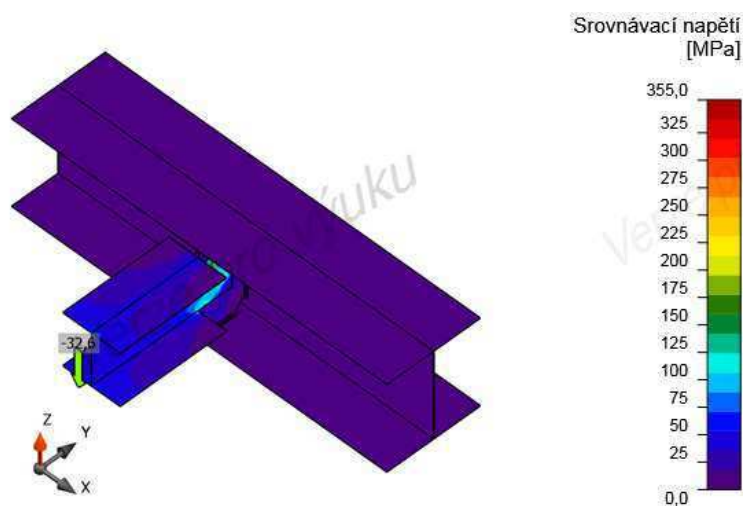
Návrhová únosnost oslabeného prvku ve smyku:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} = \frac{0,88 \cdot 10^{-3} \cdot 355}{1 \cdot \sqrt{3}} = 180,36 \text{ kN}$$

Posudek:

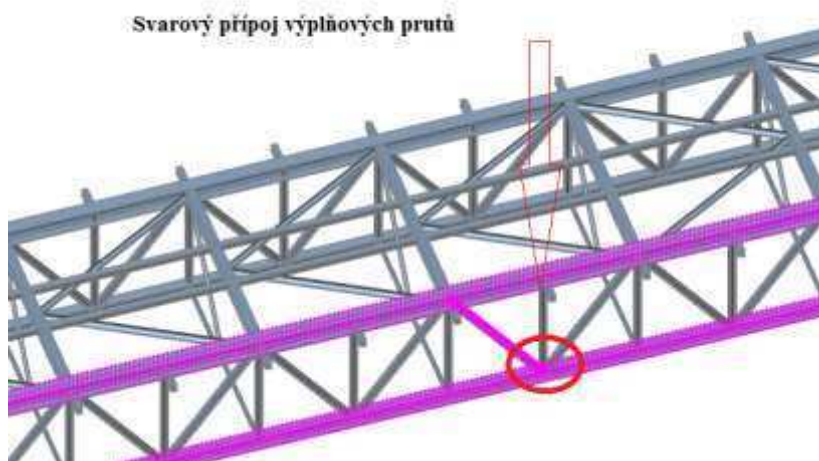
$$\frac{V_{pl,Rd} = 180,36 \text{ kN}}{2 \cdot V_{max,z,Ed} = 65,28 \text{ kN}} \geq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Spoj byl posouzen také v softwaru Idea Statica, maximální namáhání šroubů bylo spočteno metodou MKP na 51,8%. Posudek dle normy [8] stanovil maximální namáhání ve šroubech na 56,25%.



Obrázek 69: Srovnávací napětí ve styčnicku.

III. Svarový přípoj prutů příhrady



Obrázek 70: Svařované styčníky výplňových prutů.

Navržen koutový svar $a = 4 \text{ mm}$.

Únosnost svaru připojujícího krajní diagonály- profil HEB120

Délka svaru: (obvod HEB120)

$$L_{we} = 640 \text{ mm}$$

Návrhová smyková pevnost svaru:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510 \cdot \sqrt{3}}{0,9 \cdot 1,25} = 261,73 \text{ MPa}$$

Únosnost svaru:

$$F_{w,Rd} = a \cdot L_{we} \cdot f_{vw,d} = 670,034 \text{ kN}$$

Posudek:

$$N_{Ed} = 444,92 \text{ kN} \leq F_{w,Rd} = 670,03 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

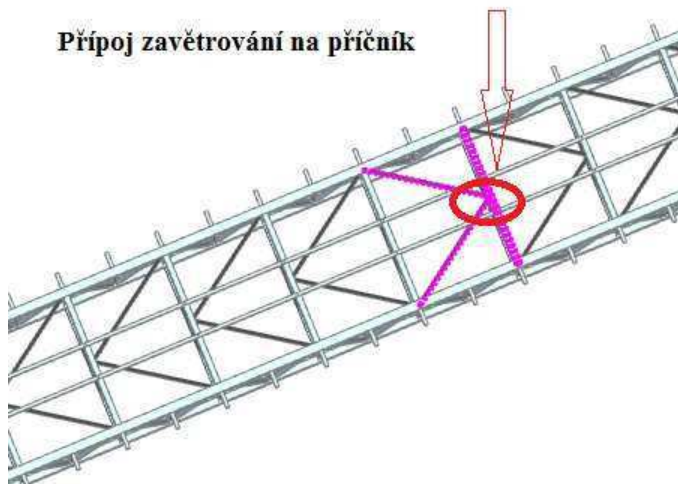
Další prvky příhradové konstrukce jsou také připojeny svarem. Srovnávací napětí ve svarech vyhovuje, posudek je uveden v Příloze 3.

IV. Přípoj zavětrování na příčníky

Síly do spoje:

$$N_{max,Ed} = 111,01 \text{ kN}$$

Přípoj zavětrování na příčník



Obrázek 71: Připojení zavětrování na příčník.

Návrh spojovacích prostředků:

P10-210x108

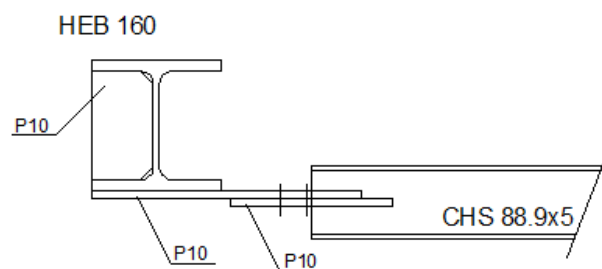
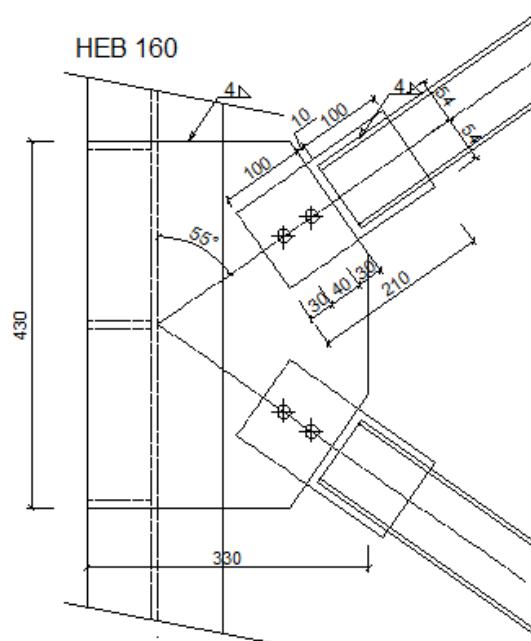
Příložky

P10-430x330

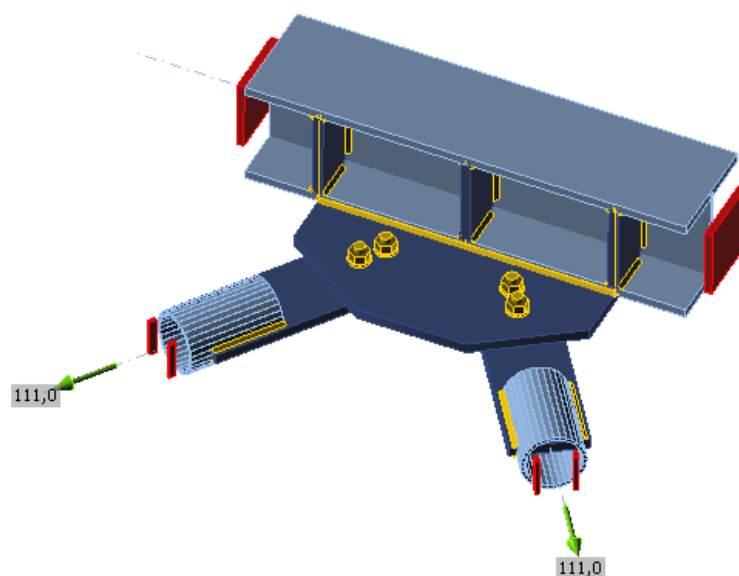
Příložky

2xM16 (10.9)

Šrouby



Obrázek 72: Návrh připojení zavětrování k příčníku



Obrázek 73: Návrh přípoje zavětrování v axonometrii, program Idea Statica.

Navrženy výztuhy 3xP10-134x76 v krajích a středu příložky P-430x330 přivařené k příčníku. Výztuhy jsou z důvodu excentrického provedení přípoje, aby se předešlo nechtěnému kroucení nosníku.

Posudek dvojice šroubů:

Návrhová únosnost jednoho šroubu ve střihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 157}{1,25} \cdot 10^{-3} = 62,8 \text{ kN}$$

Parametr:

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right. \\ \left. \frac{30}{54}; \frac{40}{54} - \frac{1}{4}; \frac{1000}{510}; 1 \right\} = 0,49$$

Parametr:

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7; \frac{1,4 \cdot p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right. \\ \left. \frac{2,8 \cdot 54}{18} - 1,7; 2,5 \right\} = 2,5$$

Únosnost v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,49 \cdot 510 \cdot 16 \cdot 10}{1,25} \cdot 10^{-3} = 72,53 \text{ kN}$$

Posudek:

$$F_{v,Ed,l} \leq \min\{F_{b,Rd}; F_{v,Rd}\}$$

$$F_{v,Ed,l} = 111,01 \text{ kN} \leq F_{b,Rd}; F_{v,Rd} = 125,06 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Posudek svaru plechu a HEB profilu:

Navržen koutový svar $a=4 \text{ mm}$.

Délka svaru:

$$L_{we} = 430 \text{ mm}$$

Návrhová smyková pevnost svaru:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u/\sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510/\sqrt{3}}{0,9 \cdot 1,25} = 261,73 \text{ MPa}$$

Únosnost svaru:

$$F_{w,Rd} = a \cdot L_{we} \cdot f_{vw,d} = 450,18 \text{ kN}$$

Posudek:

$$2 \cdot N_{Ed} \cdot \cos(55^\circ) = 127,35 \text{ kN} \leq F_{w,Rd} = 450,18 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Posudek svaru plechu a trubky:

Navržen koutový svar $a=4 \text{ mm}$.

Délka svaru:

$$L_{we} = 110 \text{ mm}$$

Návrhová smyková pevnost svaru:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u/\sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \cdot a_w \cdot L_w = \frac{510/\sqrt{3}}{0,9 \cdot 1,25} \cdot 4 \cdot 4 \cdot 110 = 460,69 \text{ MPa}$$

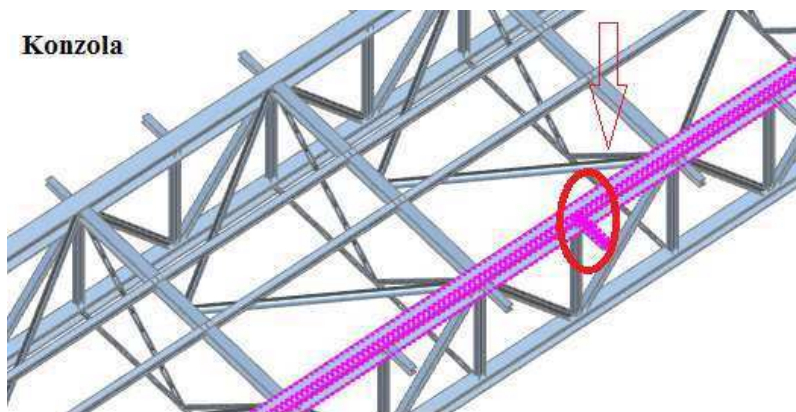
Posudek:

$$N_{Ed} = 111,01 \text{ kN} \leq F_{w,Rd} = 460,69 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

V. Přípoj konzoly na podélník

Styčnick je modelován jako vetknutí, je tedy navržené tuhé řešení spoje.



Obrázek 74: Umístění konzol v 3D konstrukci mostu.

Síly do spoje:

$$M_{\max,y,Ed} = 4,67 \text{ kNm}$$

$$V_{\max,y,Ed} = 4,14 \text{ kN}$$

Návrh spojovacích prostředků:

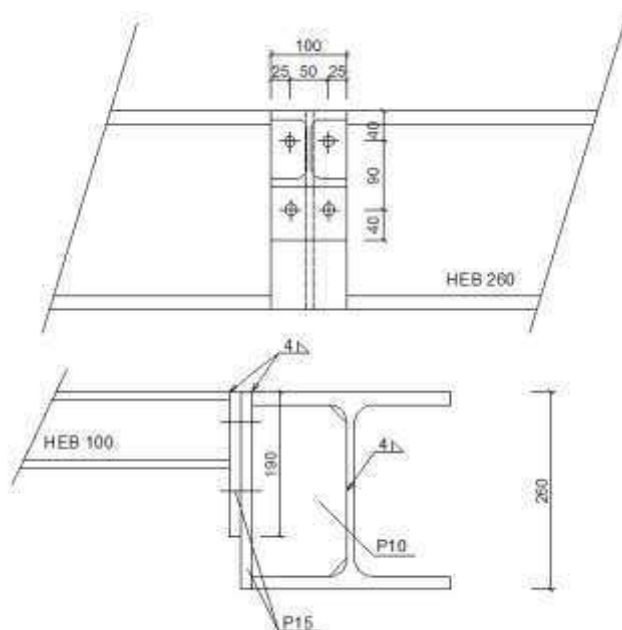
P15-260x100

Příložky jedné pásnice

P15-190x100

Šrouby pásnice

4xM12 (10.9)



Obrázek 75: Navržené připojení konzoly

Posudek dvojice šroubů:

Návrhová únosnost jednoho šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 84,3}{1,25} \cdot 10^{-3} = 33,72 \text{ kN}$$

Parametr:

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right. \\ \left. \frac{40}{54}; \frac{90}{54} - \frac{1}{4}; \frac{1000}{510}; 1 \right\} = 0,74$$

Parametr:

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7; \frac{1,4 \cdot p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right. \\ \left. \frac{2,8 \cdot 25}{18} - 1,7; \frac{1,4 \cdot 50}{18} - 1,7; 2,5 \right\} = 2,19$$

Únosnost v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,19 \cdot 0,74 \cdot 510 \cdot 16 \cdot 15}{1,25} \cdot 10^{-3} = 158,77 \text{ kN}$$

Posudek:

$$F_{v,Ed,l} \leq \min\{F_{b,Rd}; F_{v,Rd}\}$$

$$F_{v,Ed,l} = 4,67 \text{ kN} \leq F_{b,Rd}; F_{v,Rd} = 134,88 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Posudek šroubového přípoje v tahu:

Předpoklad pružného rozdělení sil ve šroubech- tahovou sílu budou přenášet jen šrouby v horní řadě:

$$M_{Ed} = \sum F_i \times r_i$$

Pro dva šrouby v řadě

$$M_{Ed} = 2 \times \sum F_i \times r_i$$

$$r_l = 60 \text{ mm}$$

Po dosazení jsou síly rozděleny:

$$F_{lEd} = 38,92 \text{ kN} = F_{t,Ed}$$

Návrhová únosnost jednoho šroubu v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 84,3}{1,25} = 60,696 \text{ kN}$$

Posudek:

$$F_{t,lEd} = 38,92 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 60,7 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Posouzení protlačení šroubu:

$$F_{t,Ed} = 38,92 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost hlavy šroubu v protlačení:

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \pi \cdot 20,5 \cdot 15 \cdot \frac{510}{1,25} = 236,49 \text{ kN}$$

Posudek:

$F_{t,Ed} =$	5,74 kN	≤	$B_{p,Rd} =$	236,49 kN
VYHOVUJE				

Vliv páčení:

Průběh vnitřních sil dovoluje použití zjednodušeného posudku dle [9].

Minimální tloušťka, u které se nemusí vliv páčení uvažovat:

$$t_e = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b \cdot d^2}{a}} = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{21,75 \cdot 2}{25}} = 21,52 \text{ mm}$$

$t_e =$	21,52 mm	≤	$t =$	15 mm
nevyhovuje- uvažuje se vliv páčení				

Působící návrhová tahová síla ve šroubu se zvyšuje součinitelem:

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \cdot \frac{te^3 - t^3}{d^2} = 1 + 0,005 \cdot \frac{28,194^3 - 15^3}{12^2} = 1,13$$

Návrhová tahová síla:

$$F_{t,Ed} = F_{t,Ed} \cdot \gamma_p = 38,92 \cdot 1,13$$

$$F_{t,Ed} = 43,92 \text{ kN}$$

Posudek:

$F_{t,Ed} =$	43,92 kN	≤	$F_{t,Rd} =$	60,7 kN
VYHOVUJE				

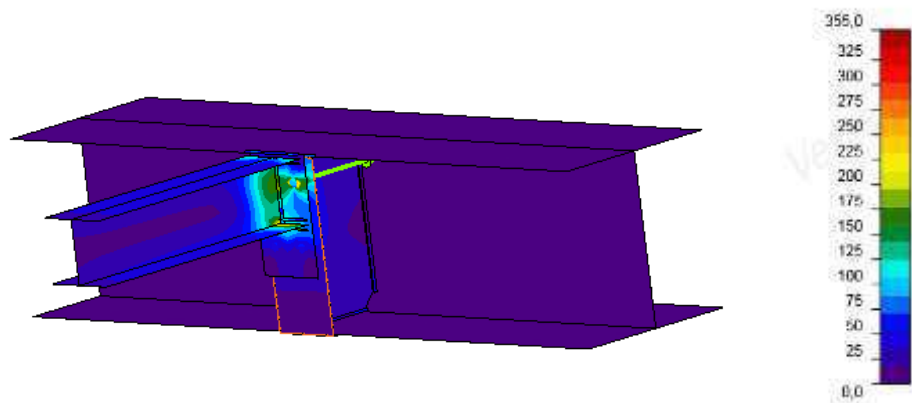
Posouzení šroubového přípoje na kombinaci smyku a tahu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$$
$$\frac{4,67}{134,48} + \frac{43,92}{1,4 \cdot 60,7} = 0,55 \leq 1,0$$

Posudek:

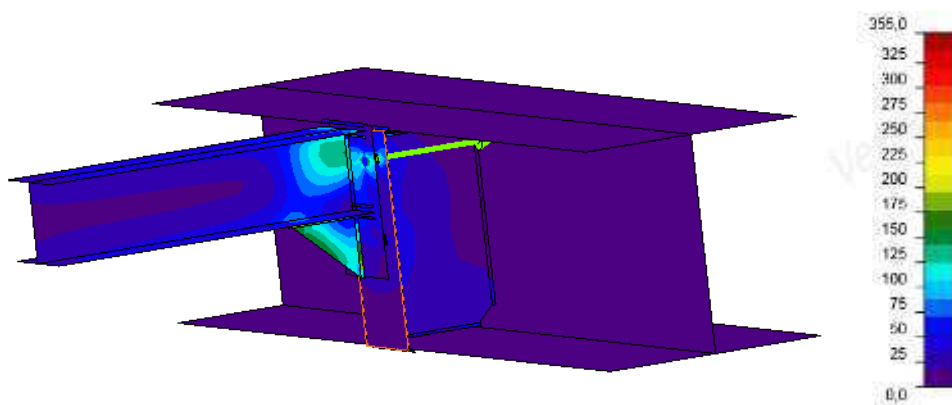
0,55	≤	1
VYHOVUJE		

Spoj byl posouzen v programu Idea Statica a vyhověl. Výsledky posudku jsou uvedené v Příloze 3.



Obrázek 76: Průběh srovnávacího napětí v přípoji konzoly na podélník v programu Idea Statica.

Pro snížení tahu v horních šroubech a využití i dolní řady šroubů by mohla být navržena výztuha u dolní příruby připojované konstrukce.



Obrázek 77: Průběh srovnávacího napětí s výztuhou u dolní příruby.

4.8. Návrh dilatace mostu

Ložisko nad pevným bodem musí umožnit dilataci 1. dilatačního celku. Podélný posun bude zajištěn oválnými otvory.

Dilatace druhého celku bude umožněna v pevné podpoře, umístěné ve vrcholu konstrukce.

I. Dilatace mostu:

Podélná dilatace je závislá na maximálním prodloužení a zkrácení jednoho dilatačního celku, způsobeného ohřátím/ochlazením konstrukce.

- 1. Dilatační celek:

Délka dilatačního celku je složena ze 3 polí:

$$L_{x1} = 26,5 \text{ m},$$

$$L_{x2} = 36,0 \text{ m},$$

$$L_{x3} = 36,0 \text{ m}.$$

Prodloužení pole 1:

$$u_{x,1} = \alpha \cdot \Delta T \cdot l = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 49 \cdot 2 \cdot 26,5 = 31,164 \text{ mm}$$

Prodloužení pole 2 a 3:

$$u_{x2,3} = \alpha \cdot \Delta T \cdot l = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 49 \cdot 2 \cdot 36 = 42,33 \text{ mm}$$

Celková šířka oválného otvoru pro 1.dilatační celek:

$$d_{0,x} = d_0 + u_{x1} + 2 \cdot u_{x,2,3} = 26 + 31,16 + 2 \cdot 42,33 = 141,82 \text{ mm}$$

Navržený oválný otvor:

$$d_{0,x} = 150 \text{ mm}.$$

- 2. Dilatační celek

Délka dilatačního celku je složena ze 3 polí:

$$L_{x1,2,3} = 36 \text{ m}.$$

Prodloužení pole:

$$u_x = \alpha \cdot \Delta T \cdot l = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 49 \cdot 2 \cdot 36 = 42,33 \text{ mm}$$

Celková šířka oválného otvoru pro 1.dilatační celek:

$$d_{0,x} = d_0 + 3 \cdot u_{x,2,3} = 26 + 3 \cdot 42,33 = 152,99 \text{ mm}$$

Navržený oválný otvor:

$$d_{0,x} = 160 \text{ mm}.$$

II. Návrh ložiska

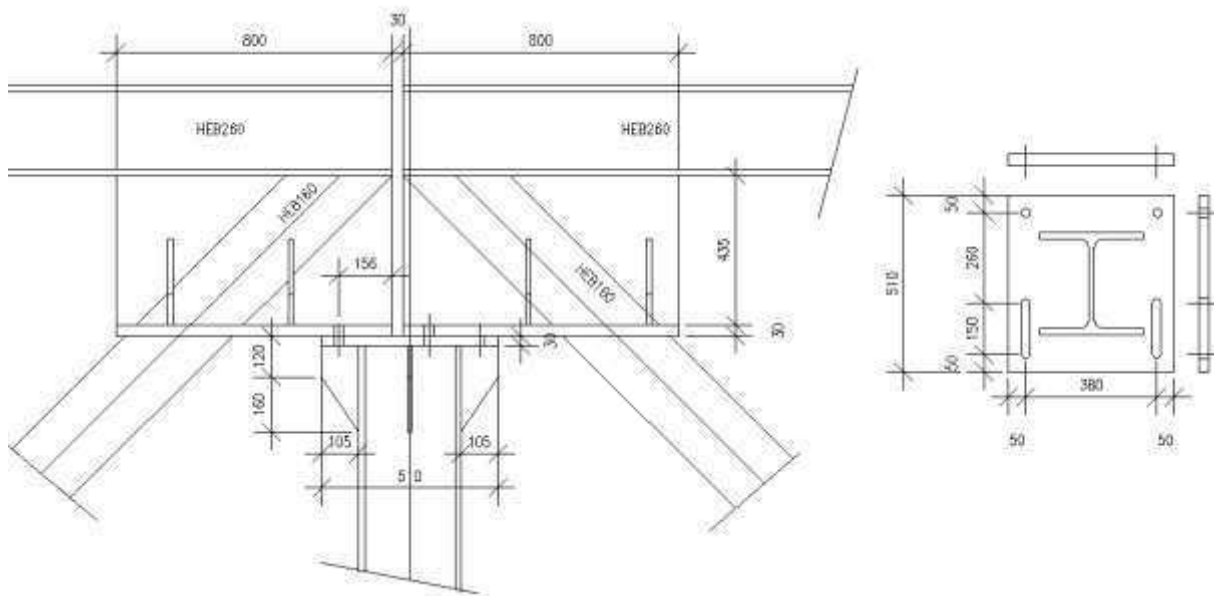
Síly do spoje:

$$N_{\max,Ed} = 18,82/2 = 9,41 \text{ kNm} \quad \text{Tahová síla na dvojici šroubů.}$$

$V_{\max,y,Ed} = 341 \text{ kN}$ Smyková síla na dvojici šroubů.
 Ohybové momenty ve sloupu nemají významné účinky na styčník.

Návrh spojovacích prostředků:

P30-510x480 Příložky jedné pásnice
P30-800x480 Šrouby pásnice
4xM27 (10.9)



Obrázek 78: Návrh styčníku sloupu a podélníků.

Posudek dvojice šroubů:

Návrhová únosnost jednoho šroubu ve stříhu:

Stříhová rovina nesmí procházet závitem šroubu.

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 572}{1,25} \cdot 10^{-3} = 457,6 \text{ kN}$$

Parametr:

$$\alpha = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \\ \frac{50}{90}; \frac{260}{90} - \frac{1}{4}; \frac{1000}{510}; 1 \end{array} \right. = 0,56$$

Parametr:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7; \frac{1,4 \cdot p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \\ \frac{2,8 \cdot 50}{30} - 1,7; \frac{1,4 \cdot 380}{30} - 1,7; 2,5 \end{array} \right. = 2,5$$

Únosnost v otlačení:

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,56 \cdot 510 \cdot 27 \cdot 30}{1,25} \cdot 10^{-3} = 459,0 \text{ kN}$$

Posudek:

$$F_{v,Ed,l} \leq \min\{F_{b,Rd}; F_{v,Rd}\}$$

$F_{v,Ed,l} =$	341,0 kN	\leq	$F_{b,Rd}; F_{v,Rd} =$	459,0 kN
VYHOVUJE				

Únosnost dvojice šroubů v tahu:

$$F_{t,Rd} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 459}{1,25} \cdot 10^{-3} = 660,96 \text{ kN}$$

Posudek:

$F_{v,Ed,l} =$	341,0 kN	\leq	$F_{b,Rd}; F_{v,Rd} =$	459,0 kN
VYHOVUJE				

Únosnost kombinace stříhu a tahu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{341}{457,6} + \frac{9,14}{1,4 \cdot 660,96} = 0,76 \leq 1,0$$

Posudek:

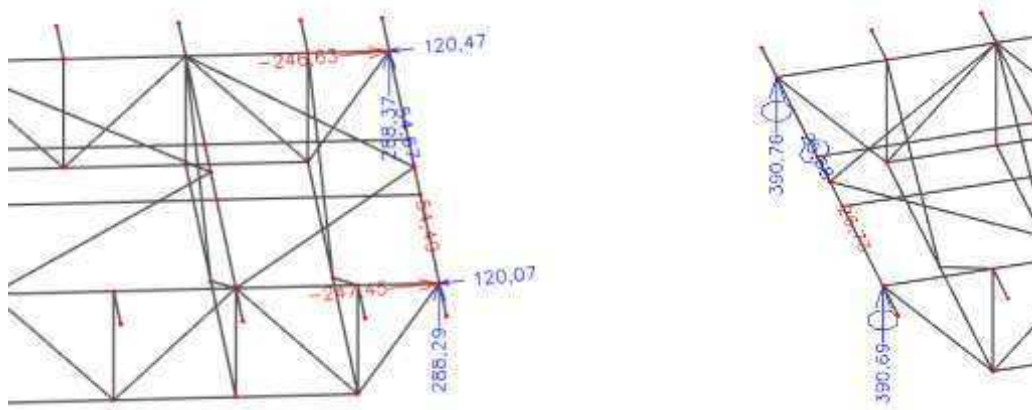
0,755	\leq	1
VYHOVUJE		

4.9. Kotvení podpěr

Všechny patky kyvných stojek jsou dimenzovány jako kloubové, tlačené. Pro přenos smykových sil jsou navrženy smykové zarážky a konstrukčně jsou kotveny mechanickými kotvami HILTI.

Pevný bod je navržen jako kolmo uložený sloup, který je také dimenzován pouze na tlakové a smykové síly, a sloup uložený pod úhlem 65°, který je namáhán tahem a smykem (Obrázek 17).

Uložení konstrukce v patě mostu je modelováno jako pevné a bude kotveno do nosné konstrukce budovy. Ve vrcholu konstrukce mostu je opět nutné kotvit koncové pole do konstrukce budovy a je zde navržena dilatace 2. dilatačního celku. Neboť nejsou dostatečné podklady pro nadimenzování přenosu reakcí do konstrukce budovy, DP se uložením nezabývá.



Obrázek 79: Reakce do konstrukce budovy a) vlevo: v patě mostu- pevné uložení; b) vpravo: vrchol mostu- kluzné uložení.

I. Patka 1. Sloupu: kyvná stojka

Síly do spoje:

$$N_{\max,Ed} = 948,8 \text{ kN} \quad \text{Tlak.}$$

$$V_{\max,y,Ed} = 11,24 \text{ kN}$$

$$V_{\max,z,Ed} = 115,97 \text{ kN}$$

Patní plech:

$$a = 450 \text{ mm} \quad \text{Rozměr plechu v ose y.}$$

$$b = 450 \text{ mm} \quad \text{Rozměr plechu v ose z.}$$

$$t = 30 \text{ mm} \quad \text{Tloušťka patního plechu.}$$

Rozměr základové patky:

$$A_p = 800 \text{ mm} \quad \text{Rozměr patky v ose y.}$$

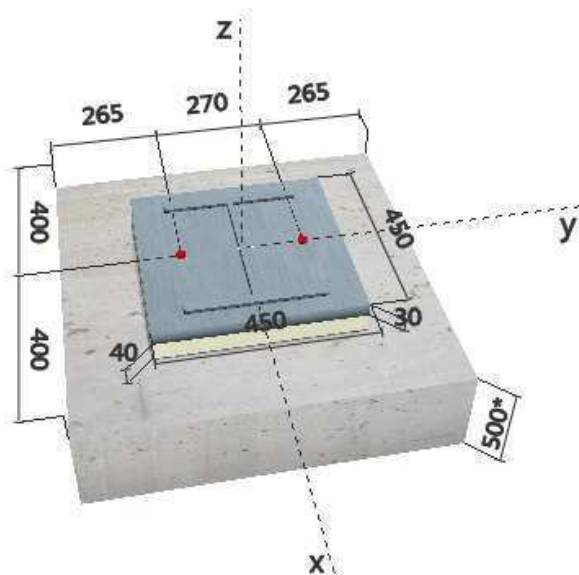
$$B_p = 800 \text{ mm} \quad \text{Rozměr patky v ose z.}$$

$$h = 500 \text{ mm} \quad \text{Hloubka základů.}$$

Podlití:

Malta musí mít vyšší pevnost než beton základu.

$$t_g = 40 \text{ mm} = (0,1 \text{ až } 0,2) \cdot \min(a, b) = 38 \text{ až } 76 \text{ mm}$$



Obrázek 80: Návrh patky 1. Sloupu v program Hilti Anchor

Návrh a posouzení kotvení:

Do základu se přenáší pouze tlak, proto jsou navrženy nenosné kotvy HILTI. 2xM16, mechanické, průvlekové HST3.

Posouzení patního plechu:

$$b_1 = \min \{B_{\text{patky}}, 5b, b + h_{\text{patky}}, 5a = 800 \text{ mm}\}$$

$$a_1 = \min \{A_{\text{patky}}, 5a, a + h_{\text{patky}}, 5b = 800 \text{ mm}\}$$

Součinitel koncentrace napětí:

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{ab}} = \sqrt{\frac{800 \cdot 800}{450 \cdot 450}} = 2,11$$

Návrhová pevnost betonu v tlaku:

$$f_{jd} = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{cd} = 0,667 \cdot 1,78 \cdot 13,33 = 15,81 \text{ MPa}$$

Efektivní šířka patní desky:

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 30 \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 15,81 \cdot 1,0}} = 82,07 \text{ mm}$$

Účinná plocha patního plechu:

Efektivní plocha určena v programu Autocad.

$$A_{eff} = 0,22 \geq \frac{N_{sd}}{f_{sd}} = \frac{948,8 \cdot 10^3}{15,81 \cdot 10^6} = 0,06$$

Patní plech pro danou tlakovou sílu vyhoví.

Návrh a posouzení smykové zarážky:

Je dimenzována na přenos vodorovných reakcí. Bude navržena z profilu HEA200, který bude přivařen celobvodovým svarem na patní plech.

Minimální hloubka smykové zarážky:

$$h_{min} = \frac{H_{z,Ed}}{b \cdot f_{cd}} + h_{podlití} = \frac{115970}{200 \cdot 20/1,5} + 40 = 83,49$$

$$h_{min} = 50 + 40 = 90 \text{ mm}$$

Návrh svaru:

Je navržen koutový svar $a = 4 \text{ mm}$.

Napjatost ve svarech:

a) Stojina:

Je namáhána normálovým a smykovým- kolmým i rovnoběžným napětím.

Smykové, rovnoběžné napětí:

$$\tau_{\parallel} = \frac{H_{z,Ed}}{2 \cdot a_w(h - 2 \cdot t_f)} = \frac{115970}{2 \cdot 4(190 - 2 \cdot 10)} = 85,27 \text{ Mpa}$$

Ohybový moment M_{sd} :

$$M_{sd} = V_{yEd} \cdot \left(\frac{h}{2} + h_{podlití} \right) = 115970 \cdot \left(\frac{50}{2} + 40 \right) = 7538,05 \text{ Nmm}$$

Ohybový moment vyvolá napětí kolmé ke svarovému obrazci- normálové a smykové:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{M_{sd} \cdot z_2}{I_w} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{7538,05 \cdot 0,085}{2,46 \cdot 10^{-5}} \cdot 10^{-6} = 18,37 \text{ MPa}$$

Únosnost ve srovnávacím napětí:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{18,37^2 + 3 \cdot (18,37^2 + 85,27^2)} = 152,2 \text{ MPa}$$

$$\frac{52,24 \text{ MPa}}{\leq} \frac{\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453,33 \text{ MPa}}$$

VYHOVUJE

Svary na stojině vyhoví.

b) Pásnice:

Ohybový moment M_{sd} :

$$M_{sd} = V_{yEd} \cdot \left(\frac{h}{2} + h_{podlití} \right) = 11,240 \cdot \left(\frac{50}{2} + 40 \right) = 730,6 \text{ Nmm}$$

Ohybový moment vyvolá napětí kolmé ke svarovému obrazci- normálové a smykové:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{M_{sd} \cdot z_2}{I_w} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{730,6 \cdot 0,098}{2,466 \cdot 10^{-5}} \cdot 10^{-6} =$$

Únosnost ve srovnávacím napětí:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2)} = \sqrt{2,05^2 + 3 \cdot (2,05^2)} = 4,11 \text{ MPa}$$

$$\frac{4,11 \text{ MPa}}{\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453,33 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Svary na pásnicích vyhoví.

II. Patka 3. Sloupu: pevný bod

a) Kolmá část podpěry

Síly do spoje:

$$N_{\max,Ed} = 1356,11 \text{ kN} \quad \text{Tlak.}$$

$$V_{\max,y,Ed} = 10,96 \text{ kN}$$

$$V_{\max,z,Ed} = 125,48 \text{ kN}$$

Patní plech:

$$a = 450 \text{ mm} \quad \text{Rozměr plechu v ose y.}$$

$$b = 450 \text{ mm} \quad \text{Rozměr plechu v ose z.}$$

$$t = 30 \text{ mm} \quad \text{Tloušťka patního plechu.}$$

Rozměr základové patky:

$$A_p = 800 \text{ mm} \quad \text{Rozměr patky v ose y.}$$

$$B_p = 800 \text{ mm} \quad \text{Rozměr patky v ose z.}$$

$$h = 500 \text{ mm} \quad \text{Hloubka základů.}$$

Podlití:

Malta musí mít vyšší pevnost než beton základu.

$$t_g = 45 \text{ mm} = (0,1 \text{ až } 0,2) \cdot \min(a, b) = 45 \text{ až } 90 \text{ mm}$$

Posudek je uveden v Příloze 3. Postup posouzení je stejný jako v předešlém posudku 1. sloupu.

b) Šikmá část podpěry

Síly do spoje:

$$N_{\max,Ed} = 443,12 \text{ kN} \quad \text{Tah.}$$

$$V_{\max,y,Ed} = 231,35 \text{ kN}$$

$$V_{\max,z,Ed} = 69,29 \text{ kN}$$

Patní plech:

$a=$	400 mm	Rozměr plechu v ose y .
$b=$	400 mm	Rozměr plechu v ose z .
$t=$	35 mm	Tloušťka patního plechu.

Rozměr základové patky:

Pro posouzení únosnosti jsou uvažovány rozměry pro základovou patku. V návrhu je z praktického hlediska navržen základový pás. Okraje pásu respektují vzdálenosti uvedené v posudku.

Doporučuje se provést vyztužení základového pásu.

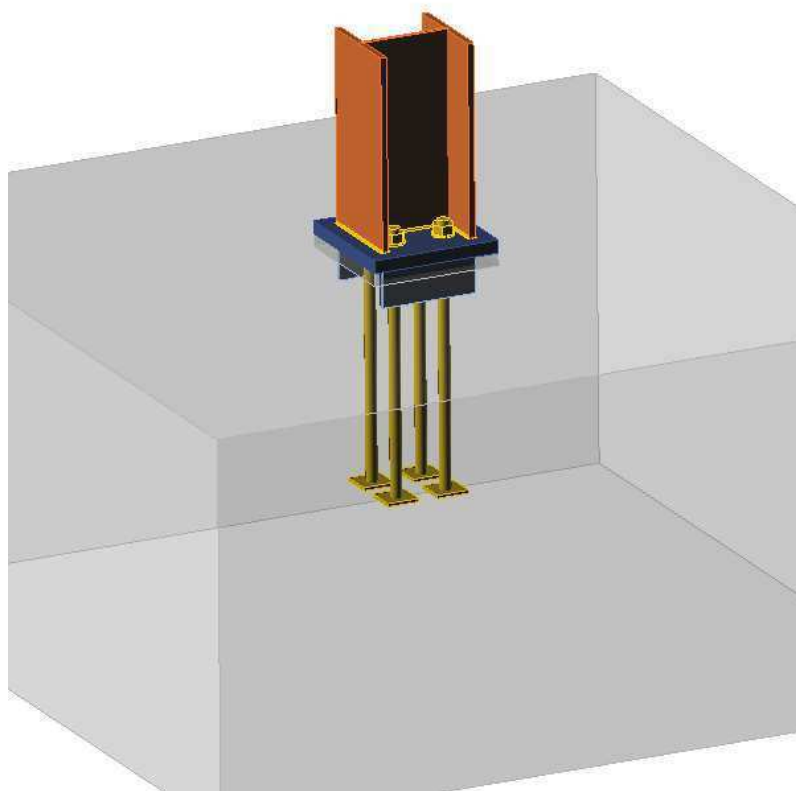
Beton třídy: C30/37

$A_p=$	2400 mm	Rozměr patky v ose y .
$B_p=$	2400 mm	Rozměr patky v ose z .
$h=$	1200 mm	Hloubka základů.

Podlití:

Malta musí mít vyšší pevnost než beton základu.

$$t_g = 40 \text{ mm} = (0,1 \text{ až } 0,2) \cdot \min(a, b) = 38 \text{ až } 76 \text{ mm}$$



Obrázek 81: Návrh kotvení tažené patky v programu Idea Statica

Návrh a posouzení kotvení:

Pro přenos tahových sil do základů je navržen kotevní šroub 4x M36 s kotevní hlavou.

I. Posudek šroubů na tah:

- Únosnost šroubu v tahu: přetržení šroubu

Návrhová únosnost v tahu:

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{max,Ed}}{4} = \frac{443,12}{4} = 110,78 \text{ kN}$$

Posudek:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,8 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,8 \cdot 1000 \cdot 1590}{1,25} \cdot 10^{-3} = 522,88$$

$F_{t,Rd} =$	$522,88 \text{ kN}$	\geq	$F_{t,Ed} =$	$110,78 \text{ kN}$
VYHOVUJE				

- Porušení soudružnosti mezi šroubem a betonem

Plocha kotevní hlavy:

$$A = a \cdot a = 0,01 \text{ m}^2$$

$$A_{max} = 0,8 \cdot A_s \frac{0,8 \cdot f_{yd}}{f_{cd}} + \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,8 \cdot 1590 \frac{0,8 \cdot 355}{\frac{40}{1,5}} + \frac{\pi \cdot 38^2}{4} = 8094 \text{ mm}^2$$

$$\Delta h = \left(\frac{4A}{\pi d^2} - 1 \right) \frac{f_{cd}}{4f_{td}} d = \left(\frac{4 \cdot 15510}{\pi 38^2} - 1 \right) \frac{40/1,5}{4 \cdot 1,34/1,5} = 2009,57 \text{ mm}$$

$$F_{s,Rd} = \pi d \cdot (h + \Delta h) f_{td} = \pi 50 \cdot \frac{(700 + 2926) 1,35}{1,5} = 280,38 \text{ kN}$$

Posudek:

$F_{s,Rd} =$	$280,38 \text{ kN}$	\geq	$F_{t,Ed} =$	$110,78 \text{ kN}$
VYHOVUJE				

- Porušení vytržením kužele betonu

Počáteční hodnota charakteristické únosnosti kotvy umístěné v betonu s trhlinami je dána vztahem:

$$N^0_{Rk,c} = 7,2 \cdot \sqrt{f_{c,k,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5} = 7,2 \cdot \sqrt{37} \cdot 700^{1,5} = 811111,24 \text{ N}$$

Geometrický účinek rozteče a vzdálenosti od okraje na charakteristickou únosnost se bere v úvahu hodnotou $A_{c,N} / A_{c,N}^0$, kde:

Plocha betonu jednotlivé kotvy $A_{c,N}^0$, při idealizaci porušení ve tvaru pyramid:

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N}$$

kde:

$$s_{cr,N} = 3 \cdot h_{eff} = 3 \cdot 700 = 2100 \text{ mm}$$

$$A_{c,N}^0 = 2100 \cdot 2100 = 4410000 \text{ mm}^2$$

Skutečná plocha základny kužele betonu kotvení na povrchu betonu $A_{c,N}$. Je omezena překrýváním kuželů betonu sousedních kotev.

$$A_{c,N} = (0,5s_{cr,N} + s_1 + 0,5s_{cr,N}) \cdot (0,5s_{cr,N} + s_2 + 0,5s_{cr,N})/4 =$$

$$A_{c,N} = 1254300,0 \text{ mm}^2$$

Činitele ψ zohledňují nepravidelnost rozložení napětí, výztuž v betonu, rozdílné zatížení kotev a beton s trhlinami či bez. Konzervativně budou všechny součinitele uvažovány s hodnotou 1.

Charakteristická únosnost kotvy nebo skupiny kotev v případě porušení vytržením kužele betonu je:

$$N_{Rk,c} = N_{Rk}^0 \cdot \frac{A_{cN}}{A_{cN}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{cec,N} \cdot \psi_{ucr,N} = 81111,24 \cdot \frac{1254300}{4410000} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 =$$

Posudek:

$$\frac{N_{Rk,c} = 230,7 \text{ kN}}{F_{t,Ed} = 110,778 \text{ kN}} \geq$$

VYHOVUJE

Návrh a posudek výztuže patky není předmětem DP.

- Páčení šroubů:

Rozměry pro výpočet náhradního T-profilu:

$$e = \frac{b - c}{2} = \frac{400 - 160}{2} = 120 \text{ mm}$$

$$m = \frac{c}{2} - \frac{t_w}{2} - 0,8a_w\sqrt{2} = 69,97 \text{ mm}$$

$$n = \min\{e; 1,25 \cdot m = 70 \text{ mm}\}$$

$$e_1 = 120 \text{ mm}$$

Účinná délka náhradního T- profilu:

Kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = \min \left\{ \begin{aligned} \pi m + (2 \cdot e_1) &= 2 \cdot 7,5 \cdot 79,97 - (4 \cdot 79,97 + 1,25 \cdot 100) = \\ 2\pi m &= 2 \cdot \pi \cdot 79,97 \end{aligned} \right.$$

Nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4m + (1,25e) = 2 \cdot 7,5 \cdot 79,97 - (4 \cdot 79,97 + 1,25 \cdot 100) = \\ 2m + 0,625e + e_1 = 4 \cdot \pi \cdot 79,97 \end{array} \right.$$

$$l_{eff} = 334,95 \text{ mm}$$

a) 1. Porušení desky T-profilu: úplná plastifikace čelní desky

Plastický, vnitřní moment v prutu:

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} \frac{\sum l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 9,10E + 06 \text{ Nmm}$$

Návrhová únosnost T-profilu čelní desky v tahu:

$$F_{t,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,Rd}}{m} = 1040,81 \text{ kN}$$

Posudek:

$F_{t,1,Rd} =$	1040,81 kN	\geq	$N_{max,Ed} =$	443,12 kN
VYHOVUJE				

b) 2. Porušení desky T-profilu a šroubů: porušení šroubů a plastifikace čelní desky

Plastický, vnitřní moment v prutu:

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} \frac{\sum l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 9,10E + 06 \text{ Nmm}$$

Návrhová únosnost T-profilu čelní desky v tahu:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = 653,05 \text{ kN}$$

Posudek:

$F_{t,2,Rd} =$	653,05 kN	\geq	$N_{max,Ed} =$	443,12 kN
VYHOVUJE				

c) 3. Porušení šroubů:

$$F_{t,3,Rd} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 1590}{1,25} \cdot 10^{-3} = 1176,48 \text{ kN}$$

Posudek:

$F_{t,3,Rd} =$	1176,48 kN	\geq	$N_{max,Ed} =$	443,12 kN
VYHOVUJE				

d) Únosnost v protlačení:

$$B_{p,Rd} = 2 \cdot 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \pi \cdot 56 \cdot 35 \cdot \frac{510}{1,25} = 3014,72 \text{ kN}$$

Posudek:

$$B_{p,Rd} = 3014,72 \text{ kN} \geq N_{max,Ed} = 443,12 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

II. Posouzení patního plechu:

Patka není namáhána tlakovou silou, návrh určitě vyhoví.

III. Posouzení svarového přípoje sloupu k patní desce:

Návrh svaru:

Je navržen koutový svar $a = 4 \text{ mm}$.

Obvod svaru:

$$\begin{aligned} L_{w1} &= 1576 \text{ mm} && \text{Délka svaru kolem celého profilu.} \\ L_{w2} &= 524 \text{ mm} && \text{Délka svaru stojiny.} \\ L_{w3} &= 520 \text{ mm} && \text{Délka svaru pásnice.} \end{aligned}$$

Zjednodušený výpočet dle průměrného napětí:

Napětí od normálové síly:

$$\sigma_{w1} = \frac{N_{max,Ed}}{a \cdot L_{w1}} = \frac{443,12 \cdot 10^3}{4 \cdot 1576} = 70,29 \text{ MPa}$$

Napětí od posouvající síly ve stojině:

$$\sigma_{w2} = \frac{H_{y,max,Ed}}{a \cdot L_{w2}} = \frac{69,29 \cdot 10^3}{4 \cdot 524} = 33,06 \text{ MPa}$$

Napětí od posouvající síly v pásnici:

$$\sigma_{w3} = \frac{H_{y,max,Ed}}{a \cdot L_{w3}} = \frac{231,35 \cdot 10^3}{4 \cdot 520} = 111,23 \text{ MPa}$$

Výsledné namáhání ve stojině:

$$\sqrt{\sigma_{w1}^2 + \sigma_{w2}^2} = \sqrt{70,29^2 + 33,06^2} = 90,66 \text{ MPa}$$

Výsledné namáhání v pásnici:

$$\sqrt{\sigma_{w1}^2 + \sigma_{w3}^2} = \sqrt{70,29^2 + 111,23^2} = 131,58 \text{ MPa}$$

Posudek:

$$131,58 \text{ MPa} \leq \frac{f_u/\sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510/\sqrt{3}}{0,9 \cdot 1,25} = 294,45 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

IV. Návrh a posouzení smykové zarážky:

Je dimenzována na přenos vodorovných reakcí. Bude navržena z profilu HEB300, který bude přivařen celoobvodovým svarem na patní plech.

Minimální hloubka smykové zarážky:

$$h_{min} = \frac{H_{z,Ed}}{b \cdot f_{cd}} + h_{podlití} = \frac{231350}{300 \cdot 20/1,5} + 40 = 82,10$$

$$h_{min} = 90 + 40 = 130 \text{ mm}$$

Návrh svaru:

Je navržen koutový svar $a = 4 \text{ mm}$.

Napjatost ve svarech:

c) Stojina:

Je namáhána normálovým a smykovým- kolmým i rovnoběžným napětím.

Smykové, rovnoběžné napětí:

$$\tau_{\parallel} = \frac{H_{z,Ed}}{2 \cdot a_w(h - 2 \cdot t_f)} = \frac{231350}{2 \cdot 4(300 - 2 \cdot 19)} = 110,38 \text{ Mpa}$$

Ohybový moment M_{sd} :

$$M_{sd} = V_{yEd} \cdot \left(\frac{h}{2} + h_{podlití} \right) = 231350 \cdot \left(\frac{90}{2} + 40 \right) = 19664,75 \text{ Nmm}$$

Ohybový moment vyvolá napětí kolmé ke svarovému obrazci- normálové a smykové:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{M_{sd} \cdot z_2}{I_w} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{19664 \cdot 0,131}{4,275 \cdot 10^{-5}} \cdot 10^{-6} = 42,58 \text{ MPa}$$

Únosnost ve srovnávacím napětí:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{42,58^2 + 3 \cdot (42,58^2 + 110,38^2)} = 209,29 \text{ MPa}$$

$$\frac{209,29 \text{ MPa}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{f_u}{0,9 \cdot 1,25} = \frac{510}{1,125} = 453,33 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Svary na stojině vyhoví.

d) Pásnice:

Ohybový moment M_{sd} :

$$M_{sd} = V_{yEd} \cdot \left(\frac{h}{2} + h_{podlití} \right) = 69290 \cdot \left(\frac{90}{2} + 40 \right) = 5889,65 \text{ Nmm}$$

Ohybový moment vyvolá napětí kolmé ke svarovému obrazci- normálové a smykové:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{M_{sd} \cdot z_2}{I_w} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{5889,65 \cdot 0,098}{4,275 \cdot 10^{-5}} \cdot 10^{-6} = 14,6 \text{ MPa}$$

Únosnost ve srovnávacím napětí:

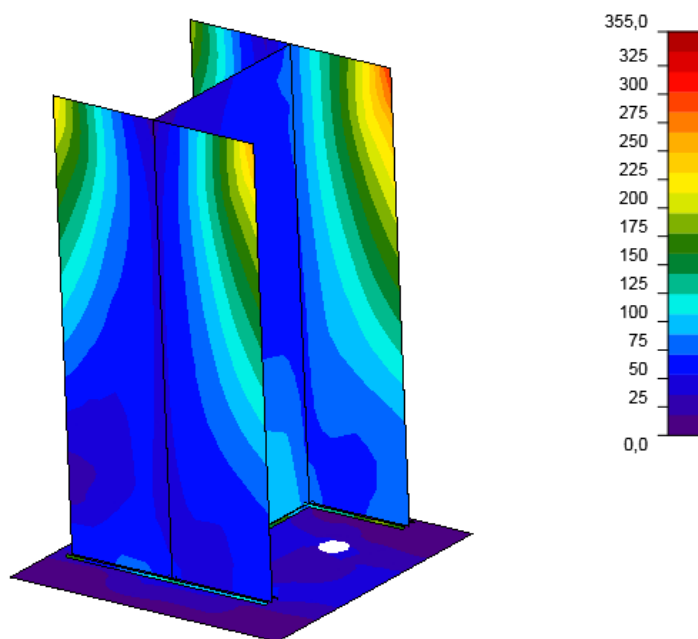
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2)} = \sqrt{14,6^2 + 3 \cdot (14,6^2)} = 29,2 \text{ MPa}$$

$$\frac{29,2 \text{ MPa}}{\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}} = \frac{29,2 \text{ MPa}}{\frac{510}{0,9 \cdot 1,25}} = 453,33 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Svary na pásnicích vyhoví.

Návrh tažené patky 3. sloupu byl posouzen v programu Idea Statica, kde namáhání šroubů bylo stanoveno na 97,7%. Kritickým posudkem se stalo vytržení kužele betonu se skupinou kotev. Poněvadž v softwaru chybí možnost zadání železobetonové patky, byla patka navržena na tyto síly. Náhled posudku je v Příloze 3.



Obrázek 82: Průběh srovnávacího napětí ve spoji.

5. TECHNICKÁ ZPRÁVA

5.1. Popis konstrukce

Předmět návrhu a statického posouzení je konstrukce dopravníkového mostu a její rozhodující nosné prvky. Při návrhu byly zohledněny požadavky dodané společností Institut ocelových konstrukcí s.r.o. Celá ocelová konstrukce je tvořena dvěma dilatačními celky po 3 polích. Celkem je navrženo 6 prostorových, příhradových polí. Konstrukce mostu je podepřena čtyřmi kyvnými stojkami a jedním pevným bodem. Další pevné podepření je v nejnižším bodě uložení konstrukce. V nejvyšším bodě je uložení modelováno jako kluzné, umožňující dilataci druhého dilatačního celku. Prvnímu dilatačnímu celku je umožněn podélný posun v pevném bodě- sloupu, oválnými otvory.

Konstrukce je navržena jako ocelová o pevnosti oceli S355J0, se založením na železobetonových patkách a pásech. Na nosné konstrukci mostu jsou na horních pásech umístěny dvě pomocné konstrukce s dopravníkovými pásy. Zastřešení je řešeno pouze obloukovou střechou příslušící každému dopravníkovému pásu. Servisní lávky jsou umístěny mezi pomocnými konstrukcemi dopravníkových pásů a po obou jejich stranách. Ke konstrukci mostu jsou uchycené potřebné technologie (kabelové rozvody, zábrany proti pádu do konstrukce běžícího pásu atd.)

První pole mostu je dlouhé 26,5 m, další už jsou po 36 m. Šířka pole je 4,2 m a po stranách jsou konzoly pro obslužné lávky o délce 0,7 m. Mosty tvoří svařované příhradové montážní celky. Montážní spoje příhrad jsou navrženy šroubované. Staticky pole mostu působí jako prosté nosníky.

Uložení pomocné konstrukce s dopravníkovými pásy je možné popsat jako uložení na horní mostovku. Konzoly pro uložení obslužných lávek jsou kotveny k hornímu pásu příhradové konstrukce. Nášlapná vrstva je tvořena odporově svařovanými podlahovými rošty. Po všech stranách obslužných plošin jsou navržena zábradlí z trubek a zábranou proti zachycení.

5.2. Statické řešení

5.2.1. Globální analýza konstrukce

Konstrukce mostu byla vymodelována jako prostorová prutová soustava v programu Scia Engineer, kde byla lineárně posouzena metodou konečných prvků. Byly stanoveny

jednotlivé zatěžovací stavy dle [2] a vytvořeny kombinace podle kombinačního vzorce 6.10.a, uvedeného v normě [1].

5.2.2. Statické řešení

Jednotlivá pole staticky působí jako prostě uložené příhradové konstrukce. Rovinná příhradová pole jsou svařovaná a modelovaná s tuhými styčníky. Příčně jsou ztužena kloubově připojenými styčníky, podélným a příčným zavětrováním. Mezi příčníky jsou kloubově připojeny pomocné podélníky pro uložení dopravníkové konstrukce. Konzoly sloužící k uložení obslužných lávek jsou modelovány s tuhými styčníky a jsou umístěny ke každé druhé svislici. Všechny nosné prvky konstrukce jsou z profilu HEB a prvky zavětrování jsou navrženy z trubek CHS.

Podpěry mostu jsou modelovány jako kyvné stojky, navrženy jsou svařované rovinné příhrady, kloubově uložené. Podpěra působící jako pevný bod je navržena ze dvou příhradových sloupů, jeden kolmý a druhý pod úhlem 65° , a ve vrcholu je navržen šroubovaný styčník. Všechny prvky podpěr jsou navrženy z válcovaných HEB profilů.

Kotvení kyvných podpěr přenáší pouze tlakové a smykové síly do základů a je navrženo s patním plechem, umístěným na podlité a nenosnými kotevními šrouby HILTI, mechanicky kotvenými s minimální hloubkou kotvení 250mm. Pro přenos smykových sil do základů je navržena smyková zarážka z HEA profilu. Kotvení podpěry pod úhlem, která je součástí pevného bodu, je navrženo na tahové a smykové síly. Nosné kotevní šrouby s T hlavou jsou předem zabetonované do základové konstrukce o minimální hloubce kotvení 700mm. Přenos smykových sil je zajištěno smykovou zarážkou profilu HEB. Samotný návrh základové konstrukce není součástí DP.

5.2.3. Stabilitní řešení

Konstrukce mostu je dostatečně tuhá a horní pás je ztužen jak v příčné tak v podélné rovině. Vzpěrné délky byly stanoveny konzervativně dle normy [7].

Softwarem Scia Engineer byla vyšetřena globální stabilita konstrukce a to lineárně bifurkační analýzou. Při výpočtu dochází ke ztrátě stability jednotlivých prutů a bylo by obtížné najít tvar, kdy dojde ke ztrátě stability konstrukce. Proto je provedena kontrola stability nelineárně stabilitním výpočtem.

5.3. Ocelové konstrukce

- **Materiál**

Všechny nosné prvky konstrukce mostu jsou navrženy z oceli S355J0.

Všechny nosné prvky podpěr jsou navrženy z oceli S355J0.

Všechny šrouby jsou z materiálu 10.9.

Konstrukce je kotvena do betonových/železobetonových základů pomocí kotevních šroubů.

- **Posouzení nosných profilů**

Všechny prvky nosné konstrukce jsou navrženy na kritické kombinace a posouzeny podle platné normy [7]. Výsledky jednotlivých posudků jsou srovnány s automatickými posudky softwaru Scia Engineer.

- **Skladba profilů**

Konstrukce mostu:

Příhradové pole mostu: (značení, profil)

Horní pás (P1)- HEB260

Dolní pás (P2)- HEB 200

Výplňové pruty:

Svislice (P3)- HEB100

Krajní diagonály (P4)- HEB120

Vnitřní diagonály (P5)- HEB100

Diagonály DP (P6)- HEB180

Ostatní prvky mostu: (značení, profil)

Příčníky (O1)- HEB260

Horní zavětrování (O2)- CHS 88.9/5.0

Podélníky vnitřní (O3)- HEB100

Příčné ztužení (O4)- CHS 60.3/4.0

Podpěry mostu:

1. a 2. Sloup:

Sloupy- HEB360

Výplňové pruty- HEB160

3. Sloup:

Sloupy kolmé- HEB360

Sloupy pod úhlem- HEB300

Výplňové pruty- HEB160

4. a 5. Sloup:

Sloupy- HEB260

Výplňové pruty- HEB160

- Ochrana proti korozi

Všechny nosné prvky konstrukce mostu i podpěr budou opatřeny protikorozním nátěrem o minimálním stupni agresivity C3. Před nanesením základní vrstvy nátěru bude povrch upraven podle požadavků ČSN EN 1090-2+A1. Šroubované přípoje budou provedeny s žárově pozinkovanou úpravou šroubů.

Betonové základy budou provedeny tak aby se zabránilo shromažďování vody a nečistot v jejich detailech. Detaily jednotlivých spojů, které jsou vystaveny klimatickým vlivům, budou řešeny tak, aby nedocházelo k zatékání vody a vnášení nečistot. Díry v patním plechu se doporučuje po osazení vyplnit epoxidovou pryskyřicí. Kontrolní prohlídky se doporučují provádět co 3 roky.

- Výroba

Konstrukce mostu je navržena ve výrobní skupině EXC2.

- Montáž ocelové konstrukce

Příhradové pole mostu je navrženo ze tří montážních celků. Podpěry mostu jsou o maximální délce cca 22m navrženy bez montážních spojů.

Montáž konstrukce musí být provedena odborně způsobilou firmou za účasti kvalifikovaných osob a pod vedením osoby s patřičnou autorizací. Montáž musí respektovat obecná pravidla pro montáž ocelových konstrukcí a musí být v souladu se statickou funkcí jednotlivých prvků.

Od zatížení transportu materiálu může docházet k dynamickým účinkům, které mohou způsobit uvolňování šroubových spojů, zejména u spojů příčníků a vnitřních podélníků. Jedním ze způsobů je aplikace speciální podložky u matice.

Rošty obslužných lávek musí být řádně ukotveny minimálně čtyřmi mechanickými kotevnými prostředky (třmeny).

Po montáži je nutné provést opravu poškozených částí nátěrového systému.

Bude zpracován technologický postup montáže dodavatelskou firmou a bude schválen projektantem.

- Bezpečnost práce

Veškeré práce na staveništi musí být prováděny osobami kvalifikovanými a proškolenými pro provádění jednotlivých činností.

Práce musí být prováděny v souladu s projektovou dokumentací.

6. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a staticky posoudit konstrukci dopravníkového mostu, sloužící k přepravě energetického uhlí v elektrárně Chvaletice. Původní dopravníkový most se zhroutil na následky požáru. Při návrhu byly respektovány požadavky předložené firmou Institut ocelových konstrukcí s.r.o., především rozměry konstrukce a umístění dvou dopravníkových pásů na konstrukci mostu.

Most je rozdělen na 6 polí, spodní pole je dlouhé 26,5m, zbylé pole jsou po 36m. Šířka mostu je 4,2 m a po stranách jsou umístěny konzoly pro obslužné lávky o šířce 0,7m. Pole mostu bylo navrženo ze dvou rovinných příhradových konstrukcí, příčně ztužené příčníky, dále pak příčným a podélným ztužením. Konstrukce pro uložení dopravníkových pásů byla vhodně umístěna na horní pásy příhradové konstrukce. Dochází tak ke snížení konstrukční výšky a úspoře materiálu. Styčníky příhradové konstrukce jsou navrženy se svařovanými styčníky. Montážní spoje a jednotlivé spoje příčníků, ztužení, konzol, jsou navrženy šroubované. Konstrukce je rozdělena na dva dilatační celky, každý o třech polích. Most je podepřen čtyřmi kyvnými stojkami a jedním pevným bodem. V nejnižším a nejvyšším bodě mostu je konstrukce kotvena do konstrukce budovy, kdy v patě je navrženo pevné podepření a ve vrcholu dochází k dilataci druhého dilatačního celku. Pro první dilatační celek je podélný pohyb umožněn ve sloupu pevného bodu pomocí oválných otvorů.

Ocelová konstrukce byla vymodelována jako prostorový prutový model v programu Scia Engineer 17. Prvky byly posouzeny na maximální účinky zatížení získané z jednotlivých kombinací [7]. Posudky byly srovnány s automatickými posudky programu.

Styčníky prvků byly navrženy a posouzeny dle normy [8]. Jednotlivé detaily byly vymodelovány a posouzeny v programu Idea Statica a byly srovnány výsledky.

Podle dosažených výsledků lze konstatovat, že konstrukce dopravníkového mostu vyhovuje na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti.

Jako největší přínos hodnotí autorka práce možnost důkladného seznámení se, s možnostmi posudků v dostupných softwarech a ověření si jejich přesnosti s normovanými postupy. Dále také možnost komplexního návrhu a statického posudku reálné konstrukce, běžně využívané v praxi.

7. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

7.1. Seznam obrázků

Obrázek 1: Pásový dopravník příhradové konstrukce [16].	14
Obrázek 2: Podélný řez mostem- původní stav [17].	16
Obrázek 3: Příčný řez mostem- původní stav.	16
Obrázek 4: Návrh uspořádání prvků v příčném řezu konstrukce mostu.	17
Obrázek 5: Návrh prostorového modelu mostu	18
Obrázek 6: Horní pásy příhradového pole mostu	18
Obrázek 7: Dolní pásy příhradového pole mostu.	19
Obrázek 8: Výplňové pruty- svislice (P3)	19
Obrázek 9: Výplňové pruty- krajní diagonály (P4).	19
Obrázek 10: Výplňové pruty- vnitřní diagonály (P5)	20
Obrázek 11: Výplňové pruty- diagonály DP (P6).	20
Obrázek 12: Rozmístění montážních spojů v poli.	20
Obrázek 13: Příčníky mostu.	21
Obrázek 14: Zavětrování horního pásu mostu	21
Obrázek 15: Podélníky pro kotvení dopravníkové konstrukce.	22
Obrázek 16: Prostorové ztužidla zajišťující prostorovou tuhost mostu	22
Obrázek 17: Podpěry- staticky působící jako kyvné stojky.	23
Obrázek 18: Podpěra: staticky působící jako prostorově tuhá.	23
Obrázek 19: Pomocný model konstrukce dopravníku	25
Obrázek 20: Reakce od stálého zatížení dopravníkové konstrukce	27
Obrázek 21: Mapa větrných oblastí ČR	29
Obrázek 22: Příhradová konstrukce	31
Obrázek 23: Součinitel síly $c_{f,0}$ pro prostorovou příhradovou konstrukci s pruty z úhelníků jako funkce součinitele plnosti φ	32
Obrázek 24: Zatížení větrem v příčném směru na 6. a 5. pole.- y^+	33
Obrázek 25: Zatížení větrem v podélném směru na 6. pole.- x^+	34
Obrázek 26: Zatížení větrem v podélném směru na kyvnou stojku.- x^+	35
Obrázek 27: Zatížení větrem v příčném směru na kyvnou stojku.- y^+	36
Obrázek 28: Zatížení větrem na střechu dopravníku.	37
Obrázek 29: Výsledné reakce od zatížení větrem na obloukovou střechu	37

Obrázek 30: Stanovené zatížení od podélného větru na dopravník	38
Obrázek 31: Stanovené zatížení od příčného větru na dopravník	39
Obrázek 32: Hodnoty maximální teploty vzduchu ve stínu [5]	40
Obrázek 33: Hodnoty minimální teploty ve stínu [5]	41
Obrázek 34: Zatížení maximální teplotou	41
Obrázek 35: Mapa sněhových oblastí v ČR [3].	42
Obrázek 36: Tvarové součinitele zatížení sněhem pro válcovou střechu.	42
Obrázek 37: Zatížení sněhem na konzoly, vnitřní podélníky a účinky od zatížení sněhem na zastřešení dopravníku.	44
Obrázek 38: Užité zatížení- obslužná plošina	45
Obrázek 39: První vlastní tvar při lineárně stabilitním výpočtu (16x zvětšeno).	47
Obrázek 40: První vlastní tvar při nelineárně stabilitním výpočtu 3D konstrukce (16x zvětšeno).	47
Obrázek 41: Maximální kombinace v horním páse.	50
Obrázek 42: Průběh von Misesova napětí na horním páse.	50
Obrázek 43: Vnitřní síly na příčnici O1	58
Obrázek 44: Průběh vnitřních sil na prvku zavětrování horního páse.	61
Obrázek 45: Průběh von Misesova napětí na prvku.	62
Obrázek 46: Vnitřní síly na vnitřním podélníku.	64
Obrázek 47: Průběh von Misesova napětí na vnitřním podélníku.	64
Obrázek 48: Průběh von Misesova napětí na prvcích příčného ztužení.	67
Obrázek 49: Průběh vnitřních sil na konzole.	68
Obrázek 50: Maximální kombinace vnitřních sil na 1. sloupu (M_y , M_z , N)	70
Obrázek 51: Průběh von Misesova napětí na prvku ztužení příhrady.	72
Obrázek 52: Maximální kombinace vnitřních sil na 3. Sloupu (nahore M_y , M_z , dole N)	74
Obrázek 53: Maximální kombinace vnitřních sil na 3. Sloupu (nahore M_y , M_z , dole N)	77
Obrázek 54: Maximální svislý průhyb od zatížení- 1. dilatační celek.	80
Obrázek 55: Maximální svislý průhyb od zatížení- 2. dilatační celek.	80
Obrázek 56: Maximální vodorovný posun- 1. dilatační celek	81
Obrázek 57: Maximální vodorovný posun- 2. dilatační celek	81
Obrázek 58: Maximální podélný posun konstrukce	81
Obrázek 59: Rozmístění montážních spojů příhradové konstrukce.	83

Obrázek 60: Návrh montážního spoje horního pásu.	84
Obrázek 61: Montážní spoj horního pásu v axonometrii- výstup z programu Idea Statica.	84
Obrázek 62: Průběh srovnávacího napětí v montážním spoji horního pásu příhradové konstrukce.	88
Obrázek 63: Návrh montážního spoje tlačené diagonály	88
Obrázek 64: Styčník příčnicku a podélníku ve 3D konstrukci mostu.	89
Obrázek 65: Návrh šroubového spoje příčnicku na podélník.	89
Obrázek 66: Návrh šroubového spoje příčnicku na podélník v axonometrii.	90
Obrázek 67: Oblast posudku vytržení skupiny šroubů.	91
Obrázek 68: Oslabený průřez příčnicku (červeně)	92
Obrázek 69: Srovnávací napětí ve styčnicku.	92
Obrázek 70: Svařované styčníky výplňových prutů.	93
Obrázek 71: Připojení zavětrování na příčník.	94
Obrázek 72: Návrh připojení zavětrování k příčnicku	94
Obrázek 73: Návrh připoje zavětrování v axonometrii, program Idea Statica.	95
Obrázek 74: Umístění konzol v 3D konstrukci mostu.	97
Obrázek 75: Navržené připojení konzoly	97
Obrázek 76: Průběh srovnávacího napětí v připoji konzoly na podélník v programu Idea Statica.	100
Obrázek 77: Průběh srovnávacího napětí s výztuhou u dolní příruby.	100
Obrázek 78: Návrh styčnicku sloupu a podélníků.	102
Obrázek 79: Reakce do konstrukce budovy a) vlevo: v patě mostu- pevné uložení; b) vpravo: vrchol mostu- kluzné uložení.	104
Obrázek 80: Návrh patky 1. Sloupu v program Hilti Anchor.	105
Obrázek 81: Návrh kotvení tažené patky v programu Idea Statica.	108
Obrázek 82: Průběh srovnávacího napětí ve spoji.	114

7.2. Seznam tabulek

Tabulka 1: Základní rychlost větru	28
Tabulka 2: Kategorie terénu, parametr drsnosti terénu z_0 a součinitel terénu k_r	29
Tabulka 3: Srovnání prvních deseti vlastních tvarů, výpočet lineární a nelineární stabilitou.	46
Tabulka 4: Rozhodující vnitřní síly na jednotlivých prvcích příhradového pole.	48

Tabulka 5: Rozhodující vnitřní síly na ostatních prvcích konstrukce mostu.....	49
Tabulka 6: Srovnání výsledku posudku dle normy a v programu Scia Engineer.	55
Tabulka 7: Srovnání posudků dle normy a v programu Scia Engineer.	56
Tabulka 8: Srovnání posudků osových sil dle normy a v programu Scia Engineer.	57
Tabulka 9: Srovnání výsledků posudku dle normy a z programu Scia Engineer.	79

8. SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ

8.1. Normy

- [1] ČSN EN 1990 (Eurokód 1)
Zásady navrhování konstrukcí, Praha, ČNI, 2011
- [2] ČSN EN 1991-1-1 (Eurokód 1)
Zatížení konstrukcí- Obecná zatížení, Praha, ČNI, 2004
- [3] ČSN EN 1991-1-3 (Eurokód 1)
Zatížení konstrukcí- zatížení sněhem, Praha, ČNI, 2013
- [4] ČSN EN 1991-1-4 (Eurokód 1)
Zatížení konstrukcí- zatížení větrem, Praha, ČNI, 2007
- [5] ČSN EN 1991-1-4 (Eurokód 1)
Zatížení konstrukcí- zatížení teplotou, Praha, ČNI, 2005
- [6] ČSN EN 1992-1-1 (Eurokód 2)
Navrhování betonových konstrukcí- Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, Praha, ČNI, 2006
- [7] ČSN EN 1993-1-1 (Eurokód 3)
Navrhování ocelových konstrukcí- Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, Praha, ČNI, 2006
- [8] ČSN EN 1993-1-8 (Eurokód 3)
Navrhování ocelových konstrukcí-Část 1-8: Navrhování styčníků, Praha, ČNI, 2006
- [9] ČSN 73 1401
Navrhování ocelových konstrukcí, Praha, ČNI, 1995

8.2. Literatura

- [10] Benda J.
Stavební statika II., Ostrava, VŠB- technická univerzita Ostrava, 2006
- [11] KADLČÁK, Jaroslav a KYTÝR, Jiří.
Statika stavebních konstrukcí I. Brno: Vysoké učení technické v Brně, VUTUM, Kounicova 67a, 1998. ISBN 80-214-1204-6.

8.3. Internetové zdroje

- [12] Odkaz na internetové stránky Doc. Ing. Víta Křivého, Ph.D. [online]
Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/krivy/podk/podk.html>
- [13] Odkaz na internetové stránky Ing. Miroslava Rosmanita, Ph.D. [online]
Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~ros11/Ocel/Ocel.html>
- [14] Ocelářské tabulky.
StaticStools [online]. [cit.2017-24-12].
Dostupné z: <http://www.staticstools.eu/cs>
- [15] Přípoje ocelových konstrukcí na betonové: František Wald, Ulrike Kuhlmann, Jan Hofmann a kol.
Steel.fsv.cvut.cz [online]. [cit. 2017-12-01].
Dostupné z: http://steel.fsv.cvut.cz/infaso/InFaSo_Design-manual_I_CZ.pdf

8.4. Zdroje obrázků

- [16] Dostupné z:
https://sdeleni.idnes.cz/foto.aspx?r=jakosmazano&foto1=AHR414024_KS2.jpg

8.5. Podklady

- [17] Původní výkresová dokumentace- Institut ocelových konstrukcí, s.r.o.

9. SEZNAM PŘÍLOH

- A) Výpis kombinací zatížení
- B) Statický posudek dle normy a programu Scia Engineer
- C) Posouzení styčníků dle normy a v programu Idea StatiCa
- D) Výkaz materiálu
- E) Výkresová dokumentace
 - 001- Sestava ocelové konstrukce;
 - 002- Pole 1- pohled, půdorys, řez A-A';
 - 003- Pole 2- pohled, půdorys, řez A-A';
 - 004- Pole 3- pohled, půdorys, řez A-A';
 - 005- Pole 4- pohled, půdorys, řez A-A';
 - 006- Pole 5- pohled, půdorys, řez A-A';
 - 007- Pole 6- pohled, půdorys, řez A-A';
 - 008- Sloup 1, sloup 2- pohled 1-1', 2-2';
 - 009- Sloup 3- pohled 3-3', 4-4';
 - 010- Sloup 4, sloup 5- pohled 5-5', 6-6';
 - 011- Detail "A", detail "B";
 - 012- Detail "C", detail "D";
 - 013- Detail "E",

10. POUŽITÝ PROGRAMOVÝ SOFTWARE

Scia Engineer 2017	Výpočetní software pro statické výpočty.
AutoCAD 2010	Grafický software pro tvorbu projektové dokumentace.
Idea StatiCa	Software pro modelování a statické posuzování styčníků.
Hilti Anchor	Software firmy HILTI k návrhu a posudku kotvení, pomocí HILTI kotev.
MS Excel 2013	Tabulkový procesor.
MS Word 2013	Textový editor.